

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของโลหะหนักต่อการเจริญของสาหร่าย โดยใช้โลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) และทองแดง (Cu) ในสาหร่ายสีเขียว 3 ชนิด ได้แก่ *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., และ *Ankistrodesmus* sp. ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ โดยแบ่งการวัดค่าการเจริญเติบโตออกเป็น 3 ส่วนคือ จำนวนเซลล์ น้ำหนักแห้งของเซลล์ และ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ได้ผลการทดลองดังนี้

เปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของสาหร่าย (% Inhibition)

เมื่อศึกษาถึงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของจำนวนเซลล์ (% Inhibition) เทียบกับกลุ่มควบคุม (ไม่ได้รับโลหะหนัก) หลังจากที่ได้รับโลหะหนักเป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่า โลหะหนักทั้ง 5 ชนิดมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของสาหร่าย โดยสารปรอท มีเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งการเจริญของจำนวนเซลล์ เฉลี่ยสูงสุด $88.4 \pm 1.7\%$ รองลงมา คือ ทองแดง $80.7 \pm 2.8\%$ แคดเมียม $66.7 \pm 2.1\%$ สารหนู $64.4 \pm 1.9\%$ และตะกั่ว $28.4 \pm 2.9\%$ เมื่อทดสอบทางสถิติ โดย Three-Way Fixed Factor ANOVA พบว่า ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของสาหร่ายขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสาหร่าย ชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญสูงกว่าในสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. ตามลำดับ และเมื่อได้รับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลให้เปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของสาหร่ายแตกต่างกัน กล่าวคือเมื่อได้รับโลหะหนักในระดับความเข้มข้นสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญลดลง

ตารางที่ 4 ค่า EC_{50} ของโลหะหนักแต่ละชนิด หลังจากทดสอบความเป็นพิษในสาหร่ายเป็นเวลา 96 ชั่วโมง (Mean $\pm$ SD)

ชนิดโลหะหนัก	ชนิดสาหร่าย		
	<i>Chlorella</i> sp.	<i>Scenedesmus</i> sp.	<i>Ankistrodesmus</i> sp.
สารปรอท	0.49 $\pm$ 0.01	0.48 $\pm$ 0.01	0.51 $\pm$ 0.01
แคดเมียม	1.81 $\pm$ 0.08	1.81 $\pm$ 0.01	1.97 $\pm$ 0.02
สารตะกั่ว	8.12 $\pm$ 0.23	7.18 $\pm$ 0.08	7.41 $\pm$ 0.04
สารหนู	2.22 $\pm$ 0.16	1.52 $\pm$ 0.01	2.15 $\pm$ 0.02
ทองแดง	1.47 $\pm$ 0.02	1.31 $\pm$ 0.01	1.61 $\pm$ 0.06
$n = 3$			

จากตารางที่ 4 สามารถสรุปความเป็นพิษของโลหะหนักที่มีต่อสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด จากค่า EC_{50} ตามระดับความเป็นพิษ ดังนี้

1. สารปรอท แสดงความเป็นพิษสูงสุดในสาหร่าย *Scenedesmus* sp. รองลงมาคือสาหร่าย *Chlorella* sp. และสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ตามลำดับ
2. ทองแดง แสดงความเป็นพิษสูงสุดในสาหร่าย *Scenedesmus* sp. รองลงมาคือสาหร่าย *Chlorella* sp. และสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ตามลำดับ
3. สารหนู แสดงความเป็นพิษสูงสุดในสาหร่าย *Chlorella* sp. รองลงมาคือสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. และสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ
4. แคดเมียม แสดงความเป็นพิษสูงสุดในสาหร่าย *Scenedesmus* sp. รองลงมาคือสาหร่าย *Chlorella* sp. และสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ตามลำดับ
5. สารตะกั่ว แสดงความเป็นพิษสูงสุดในสาหร่าย *Scenedesmus* sp. รองลงมาคือสาหร่าย *Chlorella* sp. และสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ตามลำดับ

เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่า EC_{50} หลังจากได้รับโลหะหนักเป็นเวลา 96 ชั่วโมงจากการคำนวณในสมการเส้นตรง (ดังภาคผนวก ข) โดยทดสอบความแตกต่างของปัจจัยที่เป็นอิสระต่อกัน (สาหร่าย $\times$ โลหะหนัก $\times$ EC_{50}) ด้วย Duncan Test พบว่า ความแตกต่างของค่า EC_{50} ขึ้นอยู่กับชนิดสาหร่าย และชนิดโลหะหนักที่ได้รับ และแสดงผลให้เห็นว่าสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีความไวต่อโลหะหนักสูงที่สุด รองลงมาคือ *Ankistrodesmus* sp. และ *Chlorella* sp.

ตามลำดับ สำหรับชนิดโลหะหนักที่แสดงความเป็นพิษต่อสาหร่ายสูงสุดได้แก่ สารปรอท ทองแดง แคดเมียม สารหนู และสารตะกั่วตามลำดับ

ผลของโลหะหนักต่อจำนวนเซลล์ของสาหร่าย

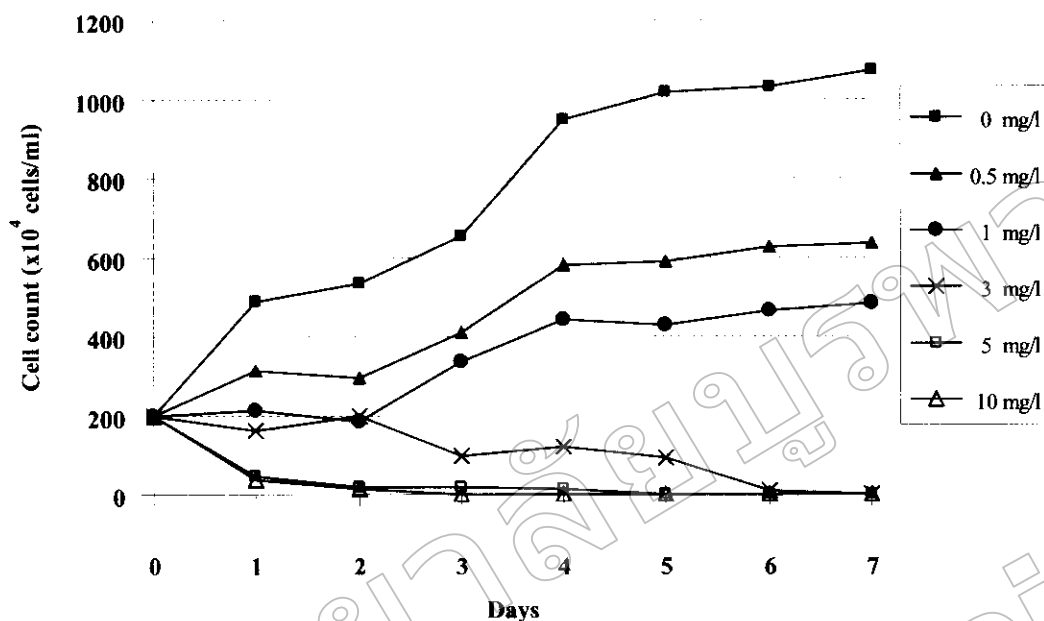
1. การศึกษาความแตกต่างของจำนวนเซลล์ต่อชนิดและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับในสาหร่าย *Chlorella* sp.

1.1 ทดสอบผลของสารปรอทที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. หลังจากได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์ทุกวัน พบว่า สารปรอทที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 5 และภาพที่ 11

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1
1	485.5 $\pm$ 8.4	313.9 $\pm$ 2.8	209.4 $\pm$ 3.2	161.6 $\pm$ 5.9	47.7 $\pm$ 5.4	37.7 $\pm$ 2.5
2	534.1 $\pm$ 4.5	294.1 $\pm$ 3.7	185.1 $\pm$ 7.0	197.7 $\pm$ 1.2	16.3 $\pm$ 0.4	15.0 $\pm$ 4.0
3	654.6 $\pm$ 4.1	411.5 $\pm$ 5.2	336.1 $\pm$ 1.7	96.2 $\pm$ 1.3	17.9 $\pm$ 1.0	2.2 $\pm$ 0.9
4	945.2 $\pm$ 2.3	577.91 $\pm$ 8.2	442.2 $\pm$ 4.8	120.3 $\pm$ 6.4	13.1 $\pm$ 5.7	0.3 $\pm$ 0.1
5	1017.7 $\pm$ 6.7	588.4 $\pm$ 4.6	426.3 $\pm$ 4.9	90.3 $\pm$ 0.3	0.7 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0
6	1030.6 $\pm$ 4.6	624.3 $\pm$ 6.4	463.4 $\pm$ 5.7	8.7 $\pm$ 1.6	0.00 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
7	1069.9 $\pm$ 6.2	634.7 $\pm$ 3.2	483.8 $\pm$ 7.3	0.00 $\pm$ 0.0	0.00 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

n = 3



ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



(ก)

(ข)

ภาพที่ 12 ลักษณะเซลล์ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้น 3 mg/l เป็นเวลา 7 วัน (ก) เซลล์ที่ได้รับสารปรอท (ข) กลุ่มควบคุม

จากภาพที่ 12 แสดงลักษณะเซลล์ที่ได้รับสารปรอท 3 mg/l เป็นเวลา 7 วัน พบว่าเซลล์มีสีซีดลงเนื่องจากการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในเซลล์ คลอโรพลาสต์แตกออกเป็นจุดเล็ก ๆ กระจัดอยู่ภายในเซลล์ และเซลล์บางส่วนถูกทำลายคลอโรฟิลล์ทั้งเซลล์ (ดังลูกศรชี้) สำหรับที่ระดับ

ความเข้มข้นสูงกว่า 3 mg/l มีผลให้เซลล์สูญเสียคลอโรฟิลล์ทั้งเซลล์ และที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่ามีผลให้เซลล์ตายทั้งหมด

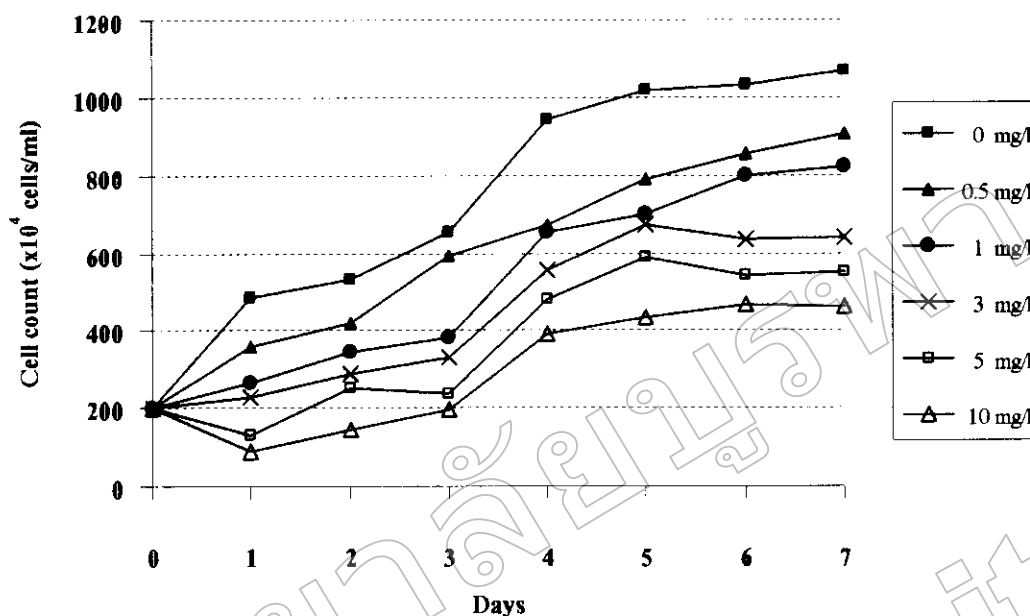
เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อ *Chlorella* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ

1.2 ทดสอบผลของแคดเมียมที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. หลังจากได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์ พบว่าแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 6 และภาพที่ 13

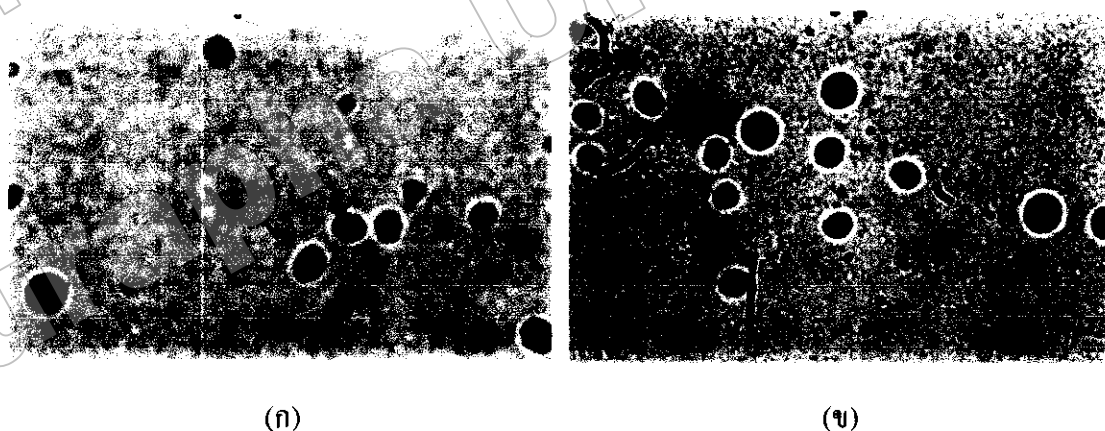
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1
1	485.5 $\pm$ 8.4	358.6 $\pm$ 3.2	267.1 $\pm$ 3.3	230.5 $\pm$ 2.8	129.5 $\pm$ 5.2	86.6 $\pm$ 2.9
2	534.1 $\pm$ 4.5	419.4 $\pm$ 1.4	343.9 $\pm$ 3.8	288.5 $\pm$ 5.4	249.9 $\pm$ 4.8	145.2 $\pm$ 5.3
3	654.6 $\pm$ 4.1	591.9 $\pm$ 6.84	384.6 $\pm$ 0.6	330.9 $\pm$ 2.8	236.3 $\pm$ 5.5	195.9 $\pm$ 5.6
4	945.2 $\pm$ 2.3	673.9 $\pm$ 4.9	652.0 $\pm$ 4.4	555.3 $\pm$ 4.4	482.6 $\pm$ 3.5	393.5 $\pm$ 5.9
5	1017.7 $\pm$ 6.7	791.3 $\pm$ 6.6	702.4 $\pm$ 6.2	673.2 $\pm$ 5.9	586.9 $\pm$ 7.9	432.7 $\pm$ 5.5
6	1030.6 $\pm$ 4.6	854.1 $\pm$ 1.9	789.1 $\pm$ 4.3	633.9 $\pm$ 4.3	542.4 $\pm$ 8.5	465.7 $\pm$ 7.3
7	1069.9 $\pm$ 6.2	905.1 $\pm$ 0.9	822.2 $\pm$ 6.3	639.9 $\pm$ 6.9	552.9 $\pm$ 2.7	461.7 $\pm$ 8.3

n = 3



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 14 ลักษณะเซลล์ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l เป็นเวลา 7 วัน (ก) เซลล์ที่ได้รับแคดเมียม (ข) กลุ่มควบคุม

จากภาพที่ 14 แสดงลักษณะเซลล์ของ *Chlorella* sp. จากการสังเกตพบว่า เซลล์บางส่วนมีรูปร่างผิดปกติซึ่งเซลล์ปกติจะค่อนข้างกลม เนื่องจากเข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้

เซลล์เสียรูปร่าง สำหรับที่ระดับความเข้มข้น 3, 5 และ 10 mg/l เซลล์บางส่วนจะถูกทำลาย คลอโรฟิลล์ และเซลล์มีสีซีดลงกว่าปกติ

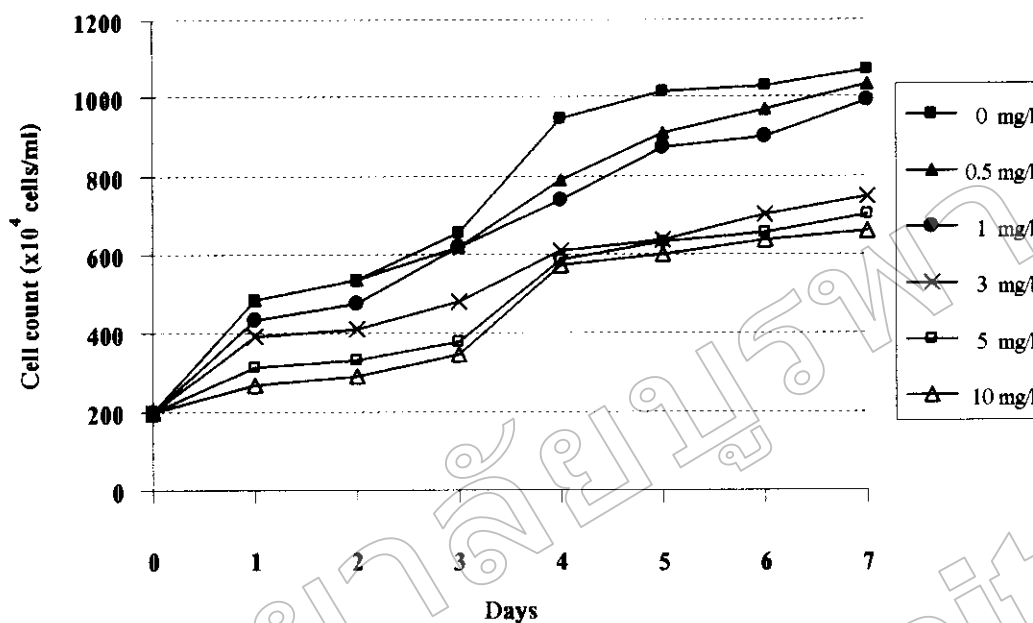
เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อ *Chlorella* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และ สารตะกั่ว ตามลำดับ

1.3 ทดสอบผลของสารตะกั่วที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. หลังจากได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์ มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 7 และภาพที่ 15

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1
1	485.5 $\pm$ 8.4	484.7 $\pm$ 6.5	434.1 $\pm$ 4.4	393.5 $\pm$ 3.7	314.5 $\pm$ 6.4	266.4 $\pm$ 2.9
2	534.1 $\pm$ 4.5	536.2 $\pm$ 2.4	473.9 $\pm$ 8.8	413.0 $\pm$ 4.4	334.3 $\pm$ 7.9	291.2 $\pm$ 3.4
3	654.6 $\pm$ 4.1	617.6 $\pm$ 5.8	618.2 $\pm$ 4.2	479.4 $\pm$ 7.5	379.8 $\pm$ 4.6	345.6 $\pm$ 3.5
4	945.2 $\pm$ 2.3	790.4 $\pm$ 7.9	737.4 $\pm$ 6.6	608.5 $\pm$ 7.9	584.2 $\pm$ 5.3	571.1 $\pm$ 2.9
5	1017.7 $\pm$ 6.7	909.6 $\pm$ 3.8	873.9 $\pm$ 6.1	637.9 $\pm$ 3.2	630.9 $\pm$ 0.2	601.9 $\pm$ 3.7
6	1030.6 $\pm$ 4.6	970.6 $\pm$ 5.1	900.2 $\pm$ 6.6	699.3 $\pm$ 6.6	654.0 $\pm$ 2.3	634.8 $\pm$ 4.6
7	1069.9 $\pm$ 6.2	1034.4 $\pm$ 4.6	990.1 $\pm$ 7.7	748.9 $\pm$ 6.4	701.4 $\pm$ 6.3	661.7 $\pm$ 5.5

$n = 3$



ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



(ก)

(ข)

ภาพที่ 16 ลักษณะเซลล์ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l เป็นเวลา 7 วัน (ก) เซลล์ที่ได้รับแคดเมียม (ข) กลุ่มควบคุม

จากภาพที่ 16 แสดงลักษณะเซลล์ของ *Chlorella* sp. หลังจากที่ได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l เป็นเวลา 7 วัน เซลล์มีลักษณะไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม เนื่องจากสารตะกั่วในระดับความเข้มข้นต่ำจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเซลล์

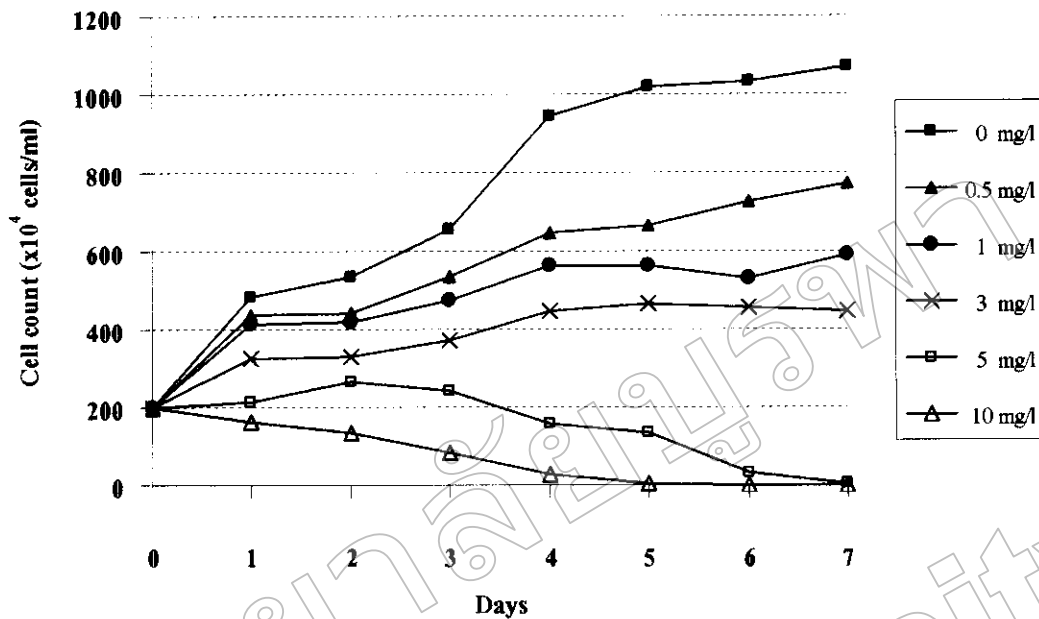
เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อ *Chlorella* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ

1.4 ทดสอบผลของสารหนูที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. หลังจากได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์ พบว่าสารหนูที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 8 และภาพที่ 17

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1
1	485.5 $\pm$ 8.4	438.3 $\pm$ 2.5	412.5 $\pm$ 3.2	327.3 $\pm$ 2.1	215.0 $\pm$ 3.9	163.7 $\pm$ 6.4
2	534.1 $\pm$ 4.5	441.1 $\pm$ 3.2	417.3 $\pm$ 6.4	328.6 $\pm$ 2.4	262.8 $\pm$ 2.4	134.9 $\pm$ 3.6
3	654.6 $\pm$ 4.1	536.3 $\pm$ 6.8	476.0 $\pm$ 3.2	370.9 $\pm$ 1.7	242.7 $\pm$ 2.2	85.7 $\pm$ 5.7
4	945.2 $\pm$ 2.3	644.3 $\pm$ 3.2	560.5 $\pm$ 1.7	444.7 $\pm$ 1.0	156.8 $\pm$ 4.4	26.3 $\pm$ 3.4
5	1017.7 $\pm$ 6.7	664.4 $\pm$ 4.9	561.5 $\pm$ 3.2	466.1 $\pm$ 4.6	136.3 $\pm$ 6.4	3.9 $\pm$ 1.7
6	1030.6 $\pm$ 4.6	723.6 $\pm$ 5.9	531.4 $\pm$ 4.6	456.5 $\pm$ 3.5	32.0 $\pm$ 3.2	0.8 $\pm$ 0.6
7	1069.9 $\pm$ 6.2	772.3 $\pm$ 4.0	590.3 $\pm$ 6.7	444.7 $\pm$ 3.2	3.1 $\pm$ 1.8	0.0 $\pm$ 0.0

$n = 3$



ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 18 ลักษณะเซลล์ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l เป็นเวลา 7 วัน (ก) เซลล์ที่ได้รับสารหนู (ข) กลุ่มควบคุม

จากภาพที่ 18 แสดงลักษณะเซลล์ของ *Chlorella* sp. ที่ได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l พบว่า เซลล์มีลักษณะต่างจากกลุ่มควบคุม คือเซลล์มีสีซีดกว่ากลุ่มควบคุมรวมทั้งรูปร่างเซลล์ไม่คงรูปเดิม เนื่องจากสูญเสียคลอโรพลาสต์เนื่องจากสารหนูมีผลไปยับยั้งการสร้างพลังงาน

ATP ในเซลล์ มีผลต่อระบบภายในเซลล์ ซึ่งแสดงลักษณะออกมาได้อย่างชัดเจน และเมื่อได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่ามีผลให้เซลล์สูญเสียคลอโรฟิลล์เกือบทั้งเซลล์

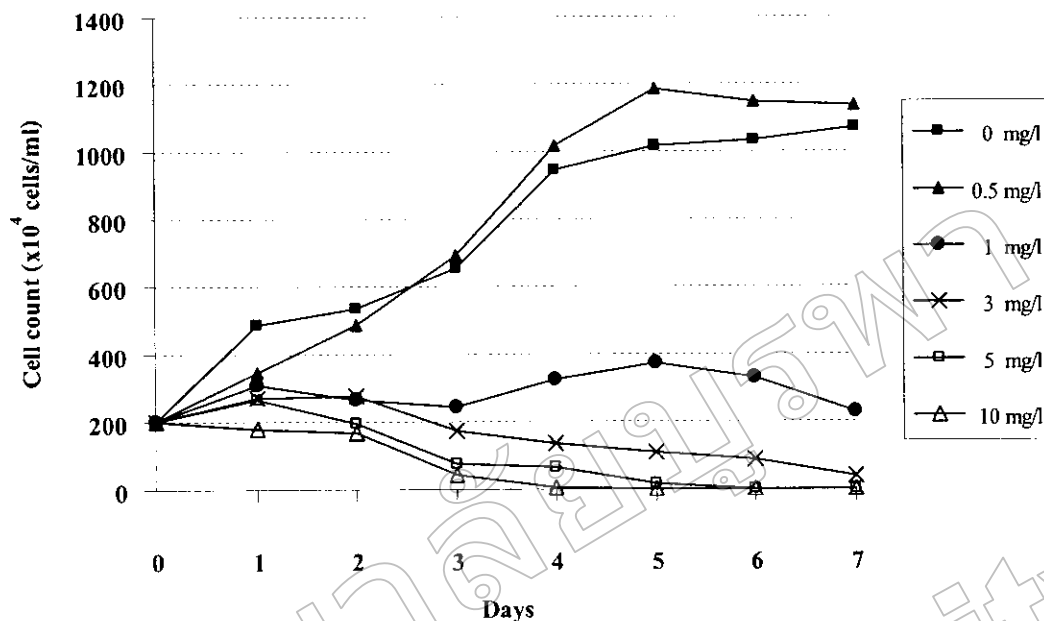
เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นสูงจะมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อ *Chlorella* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ

1.5 การทดสอบผลของทองแดงที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. หลังจากที่ได้รับทองแดงเป็นเวลา 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l โดยการนับจำนวนเซลล์ พบว่า ทองแดงที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของ *Chlorella* sp. โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 9 และภาพที่ 19

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1	199.9 $\pm$ 0.1
1	485.5 $\pm$ 8.4	345.3 $\pm$ 4.1	305.8 $\pm$ 3.3	271.7 $\pm$ 4.8	264.3 $\pm$ 4.1	176.6 $\pm$ 4.9
2	534.1 $\pm$ 4.5	485.1 $\pm$ 3.2	265.9 $\pm$ 3.0	273.6 $\pm$ 4.9	194.2 $\pm$ 3.9	166.4 $\pm$ 2.5
3	654.6 $\pm$ 4.1	693.3 $\pm$ 1.4	240.9 $\pm$ 0.1	174.7 $\pm$ 5.5	74.7 $\pm$ 5.5	42.5 $\pm$ 6.7
4	945.2 $\pm$ 2.3	1017.2 $\pm$ 2.3	322.8 $\pm$ 1.5	134.5 $\pm$ 4.4	63.4 $\pm$ 6.4	2.8 $\pm$ 0.9
5	1017.7 $\pm$ 6.7	1184.3 $\pm$ 4.2	373.1 $\pm$ 1.8	105.7 $\pm$ 4.3	14.3 $\pm$ 2.1	0.1 $\pm$ 0.1
6	1030.6 $\pm$ 4.6	1143.9 $\pm$ 1.9	331.4 $\pm$ 3.9	84.7 $\pm$ 5.9	0.4 $\pm$ 0.2	0.0 $\pm$ 0.0
7	1069.9 $\pm$ 6.2	1134.2 $\pm$ 0.9	225.5 $\pm$ 4.1	40.4 $\pm$ 8.1	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

$n = 3$



ภาพที่ 19 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสำหรับ *Chlorella* sp. ได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสำหรับ *Chlorella* sp. ได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นไปมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อ *Chlorella* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ สำหรับลักษณะเซลล์ของ *Chlorella* sp. ที่ได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วันพบว่า เซลล์มีลักษณะต่างจากกลุ่มควบคุม (ไม่ได้รับโลหะหนัก) คือเซลล์ถูกทำลายคลอโรพลาสต์เกือบทั้งเซลล์ แม้ว่าทองแดงจะเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายก็ตาม หากได้รับในปริมาณที่สูงเกินระดับความต้องการย่อมส่งผลต่อการเจริญของสาหร่ายเช่นกัน

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยด้านสายพันธุ์ของสาหร่าย ชนิดและระดับโลหะหนักที่ได้รับด้วย Three-Way Fixed Factors ANOVA พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. มีจำนวนเซลล์สูงสุด

รองลงมาคือ *Chlorella* sp. และ *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ และสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ตามลำดับ

2. การศึกษาความแตกต่างของจำนวนเซลล์ต่อชนิดและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับในสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

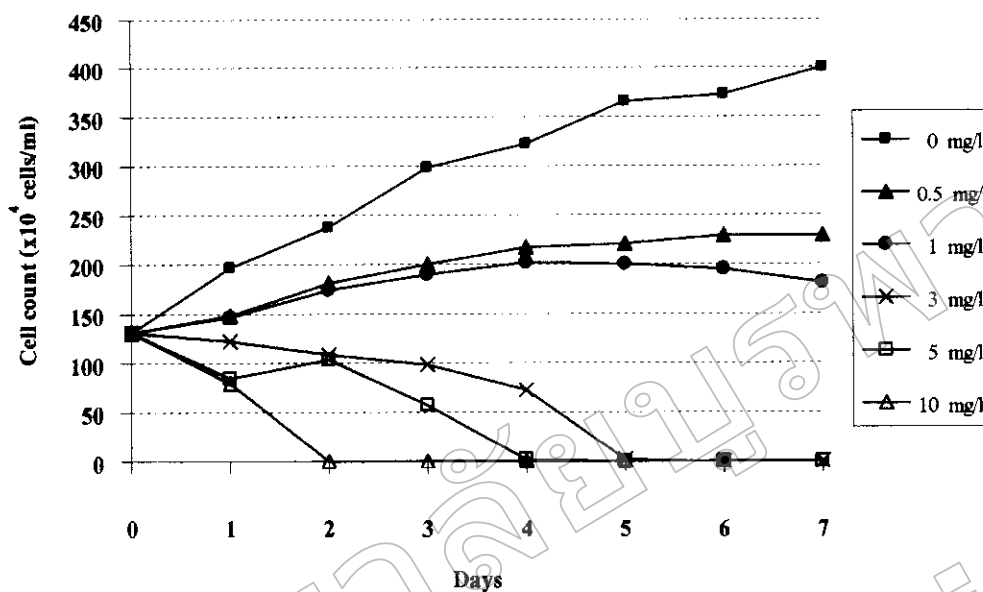
2.1 ทดสอบผลของสารปรอทที่มีต่อจำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

หลังจากที่ได้รับสารปรอท (Hg) ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งไม่ได้รับโลหะหนักพบว่า สารปรอทที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของ *Scenedesmus* sp. โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 20

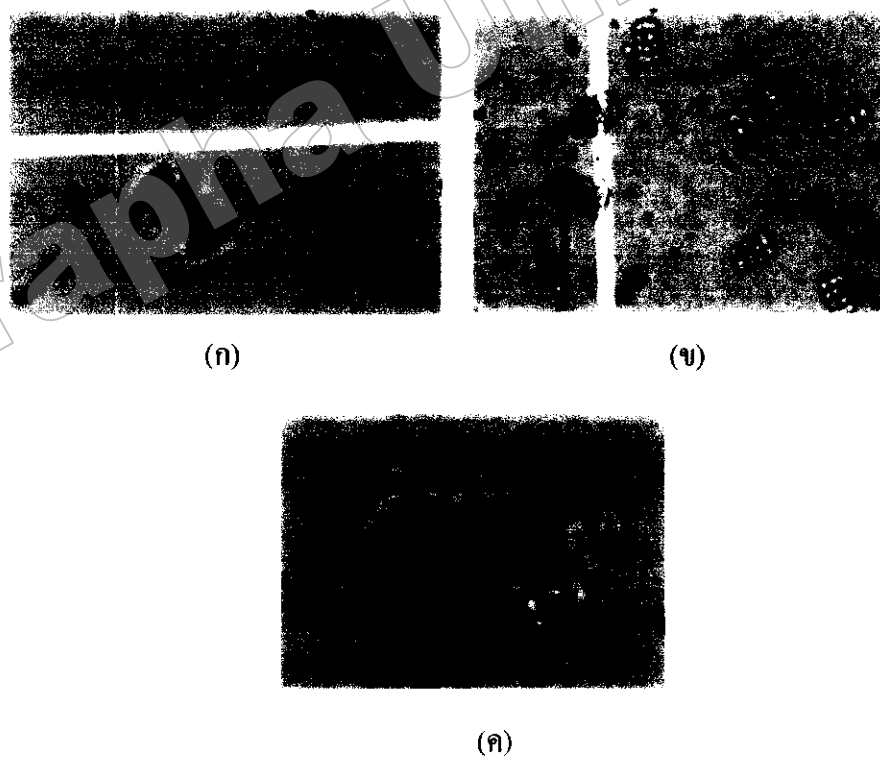
ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารปรอท ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4
1	196.9 $\pm$ 4.0	148.9 $\pm$ 0.3	146.9 $\pm$ 1.0	122.3 $\pm$ 0.4	83.9 $\pm$ 0.7	79.5 $\pm$ 0.2
2	237.4 $\pm$ 5.1	180.5 $\pm$ 1.7	174.6 $\pm$ 3.5	108.8 $\pm$ 1.6	103.3 $\pm$ 1.8	56.3 $\pm$ 0.7
3	298.8 $\pm$ 0.7	199.3 $\pm$ 1.0	189.1 $\pm$ 1.3	98.5 $\pm$ 2.6	57.5 $\pm$ 1.1	0.3 $\pm$ 0.2
4	323.3 $\pm$ 0.9	217.5 $\pm$ 3.0	201.1 $\pm$ 5.9	72.8 $\pm$ 2.4	1.8 $\pm$ 0.6	0.0 $\pm$ 0.0
5	365.6 $\pm$ 2.0	220.4 $\pm$ 0.6	200.8 $\pm$ 2.4	0.9 $\pm$ 0.3	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
6	373.1 $\pm$ 1.0	228.8 $\pm$ 1.4	195.2 $\pm$ 5.8	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
7	399.3 $\pm$ 0.7	229.0 $\pm$ 1.8	181.6 $\pm$ 5.1	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

n = 3



ภาพที่ 20 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 21 ลักษณะเซลล์ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับสารปรอทที่เป็นเวลา 7 วัน (ก) เซลล์ที่ได้รับสารปรอท 10 mg/l (ข) กลุ่มควบคุม (ค) เซลล์ที่ได้รับสารปรอท 1 mg/l

จากภาพที่ 21 จะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะเซลล์ *Scenedesmus* sp. ภายในเซลล์ที่ได้รับสารปรอทจะมีสีขาวซีดเนื่องจากถูกทำลายคลอโรพลาสต์ในเซลล์ ดังภาพที่ 24 (ก) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ที่ไม่ได้รับสารปรอทภายในเซลล์ยังคงมีสีเขียว ดังภาพที่ 24 (ข) และในเซลล์ที่ได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l พบว่า เซลล์มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากผนังเซลล์ (Cell Wall) ของสาหร่ายเริ่มถูกทำลาย บริเวณลูกศรชี้ ดังภาพที่ 24 (ค)

เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอท ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ แต่เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอท และทองแดงมีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน และเมื่อได้รับแคดเมียม และสารหนูสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน

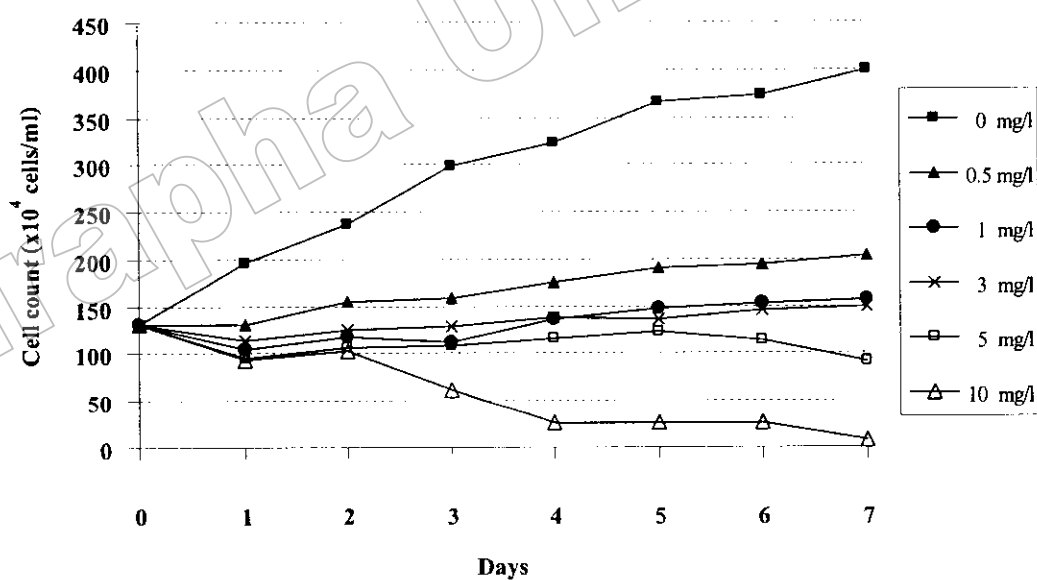
2.2 ทดสอบผลของแคดเมียมที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

หลังจากที่ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 11 และภาพที่ 22

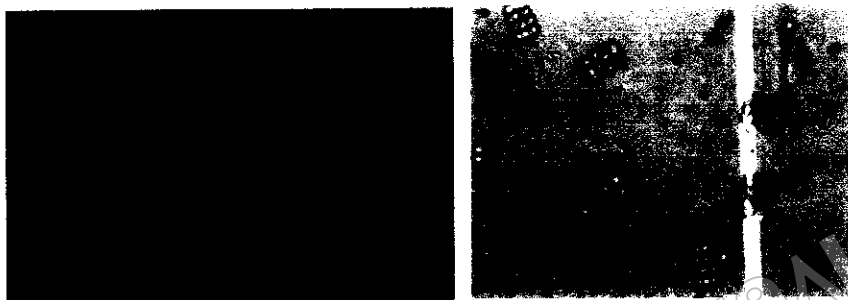
ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับ
แคดเมียม ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4
1	196.9 $\pm$ 4.0	129.9 $\pm$ 0.8	103.8 $\pm$ 2.4	113.8 $\pm$ 0.2	95.7 $\pm$ 1.4	92.8 $\pm$ 2.0
2	237.4 $\pm$ 5.1	155.8 $\pm$ 1.9	117.6 $\pm$ 7.2	125.4 $\pm$ 2.2	105.8 $\pm$ 2.1	101.9 $\pm$ 0.6
3	298.8 $\pm$ 0.7	158.3 $\pm$ 1.6	112.2 $\pm$ 1.8	128.2 $\pm$ 0.9	108.6 $\pm$ 2.4	61.2 $\pm$ 1.9
4	323.3 $\pm$ 0.9	175.8 $\pm$ 1.4	137.0 $\pm$ 2.6	138.6 $\pm$ 0.5	116.2 $\pm$ 0.1	25.3 $\pm$ 0.2
5	365.6 $\pm$ 2.0	191.2 $\pm$ 1.9	147.2 $\pm$ 1.3	137.1 $\pm$ 2.4	123.5 $\pm$ 0.9	26.3 $\pm$ 0.4
6	373.1 $\pm$ 1.0	194.9 $\pm$ 1.4	152.4 $\pm$ 2.1	146.3 $\pm$ 2.2	114.7 $\pm$ 5.8	26.2 $\pm$ 4.6
7	399.3 $\pm$ 0.7	202.6 $\pm$ 2.8	155.9 $\pm$ 4.7	149.7 $\pm$ 7.4	91.1 $\pm$ 3.7	8.0 $\pm$ 2.6

n = 3



ภาพที่ 22 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับแคดเมียมที่ระดับ
ความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



(ก)

(ข)

ภาพที่ 23 ลักษณะเชลล์ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/ l เป็นเวลา 7 วัน (ก) เชลล์ที่ได้รับแคดเมียม (ข) กลุ่มควบคุม

จากภาพที่ 23 จะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะเชลล์ *Scenedesmus* sp. ภายในเชลล์ที่ได้รับแคดเมียมภายในเชลล์บางส่วนจะไม่ใช่สีเขียวเนื่องจากถูกทำลายคลอโรพลาสต์ในเชลล์ ดังภาพที่ 23 (ก) เมื่อเปรียบเทียบกับเชลล์ที่ไม่ได้รับแคดเมียมภายในเชลล์ยังคงมีสีเขียว ดังภาพที่ 23 (ข) สำหรับที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า เชลล์จะมีสีเขียวลดลงจากปกติ

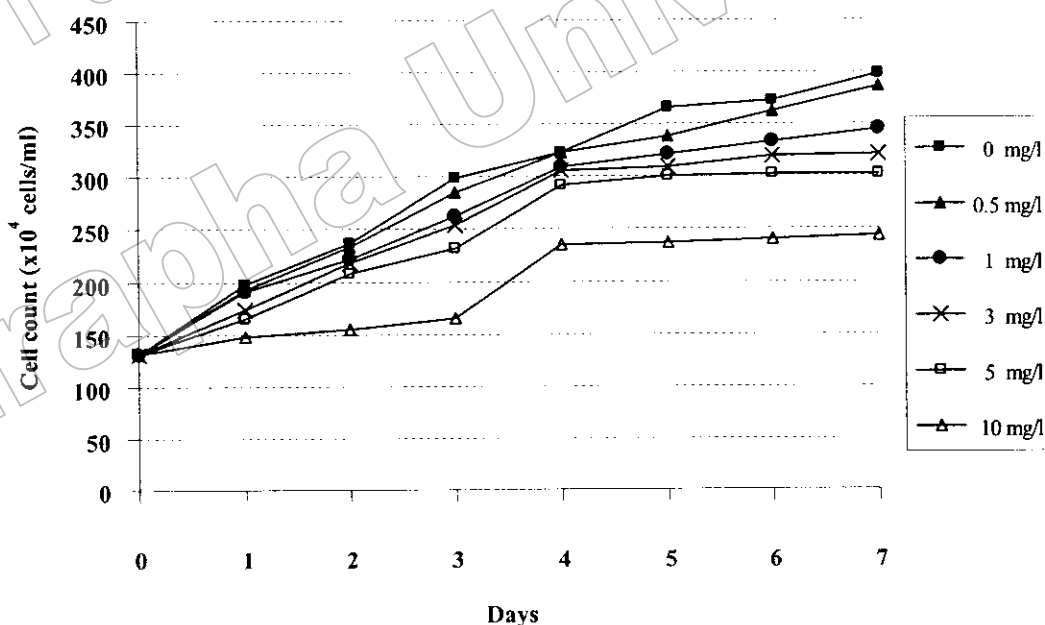
เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเชลล์ *Scenedesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเชลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเชลล์ลดลงตามลำดับ แต่เมื่อได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 1, 3 และ 5 mg/ l มีผลให้จำนวนเชลล์ *Scenedesmus* sp. ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเชลล์ *Scenedesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเชลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเชลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ แต่เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอท และทองแดงมีจำนวนเชลล์ไม่แตกต่างกัน และเมื่อได้รับแคดเมียม และสารหนูสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีจำนวนเชลล์ไม่แตกต่างกัน

2.3 ทดสอบผลของสารตะกั่วที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

หลังจากที่ได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/ l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเชลล์พบว่า พบว่าสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/ l มีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเชลล์ $\times 10^4$ เชลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 24

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารตะกั่ว ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4
1	196.9 $\pm$ 4.0	192.6 $\pm$ 1.0	191.4 $\pm$ 1.2	173.7 $\pm$ 3.2	165.6 $\pm$ 2.3	147.2 $\pm$ 3.3
2	237.4 $\pm$ 5.1	233.5 $\pm$ 1.5	222.4 $\pm$ 2.0	218.5 $\pm$ 2.8	208.5 $\pm$ 1.8	155.4 $\pm$ 1.4
3	298.8 $\pm$ 0.7	285.2 $\pm$ 1.3	263.1 $\pm$ 3.6	254.8 $\pm$ 4.2	231.8 $\pm$ 2.1	165.3 $\pm$ 5.7
4	323.3 $\pm$ 0.9	322.4 $\pm$ 7.2	308.9 $\pm$ 2.1	305.7 $\pm$ 5.1	292.4 $\pm$ 4.8	235.2 $\pm$ 6.6
5	365.6 $\pm$ 2.0	338.5 $\pm$ 4.5	320.6 $\pm$ 1.7	309.5 $\pm$ 2.3	300.7 $\pm$ 1.2	236.8 $\pm$ 4.2
6	373.1 $\pm$ 1.0	362.2 $\pm$ 5.4	333.6 $\pm$ 2.1	320.1 $\pm$ 1.9	301.4 $\pm$ 1.6	239.8 $\pm$ 1.1
7	399.3 $\pm$ 0.7	385.7 $\pm$ 8.2	345.6 $\pm$ 1.4	321.1 $\pm$ 1.8	302.4 $\pm$ 0.9	244.6 $\pm$ 1.2



ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

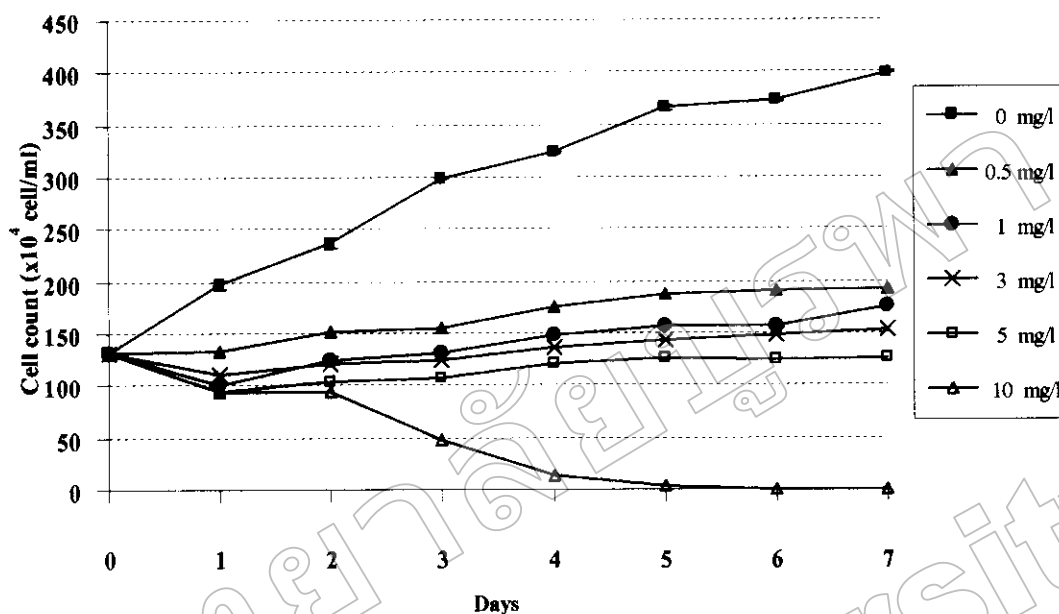
เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ แต่เมื่อได้รับสารตะกั่ว ที่ระดับความเข้มข้น 1,3 และ 5 mg/l มีผลให้จำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. ไม่แตกต่างกัน และที่ได้รับสารตะกั่ว ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 1 mg/l มีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ แต่เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอท และทองแดงมีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน และเมื่อได้รับแคดเมียม และสารหนูสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน

2.4 ทดสอบผลของสารหนูที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. หลังจากที่ได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์พบว่า พบว่า สารหนูที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 13 และภาพที่ 25

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4
1	196.9 $\pm$ 4.0	133.1 $\pm$ 4.9	101.3 $\pm$ 1.1	110.3 $\pm$ 1.4	93.1 $\pm$ 2.9	93.2 $\pm$ 5.9
2	237.4 $\pm$ 5.1	151.3 $\pm$ 3.6	124.6 $\pm$ 2.5	121.4 $\pm$ 1.9	103.4 $\pm$ 2.1	93.5 $\pm$ 0.4
3	298.8 $\pm$ 0.7	154.7 $\pm$ 4.3	131.0 $\pm$ 1.7	124.8 $\pm$ 1.7	106.6 $\pm$ 1.4	47.3 $\pm$ 7.3
4	323.3 $\pm$ 0.9	175.8 $\pm$ 3.4	148.4 $\pm$ 2.6	137.2 $\pm$ 1.8	121.3 $\pm$ 2.1	13.1 $\pm$ 0.3
5	365.6 $\pm$ 2.0	185.6 $\pm$ 2.3	156.3 $\pm$ 3.1	143.5 $\pm$ 1.6	126.5 $\pm$ 2.2	2.8 $\pm$ 0.1
6	373.1 $\pm$ 1.0	191.4 $\pm$ 2.3	157.4 $\pm$ 2.2	148.9 $\pm$ 2.1	124.4 $\pm$ 1.6	0.6 $\pm$ 0.3
7	399.3 $\pm$ 0.7	193.3 $\pm$ 3.9	175.4 $\pm$ 4.9	153.0 $\pm$ 1.5	125.6 $\pm$ 0.6	0.2 $\pm$ 0.2

$n = 3$



ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 26 ลักษณะเซลล์ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน (ก) เซลล์ที่ได้รับแคดเมียม (ข) กลุ่มควบคุม

จากภาพที่ 26 จะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะเซลล์ *Scenedesmus* sp. ในเซลล์ที่ได้รับสารหนูภายในเซลล์บางส่วนถูกทำลายคลอโรพลาสต์ในเซลล์ และรูปร่างเซลล์มีลักษณะต่างไปจากเซลล์ปกติดังลูกศรชี้ ภาพที่ 26 (ก) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ที่ไม่ได้รับสารปรอทภายในเซลล์ยังคงมีสีเขียว ดังภาพที่ 26 (ข)

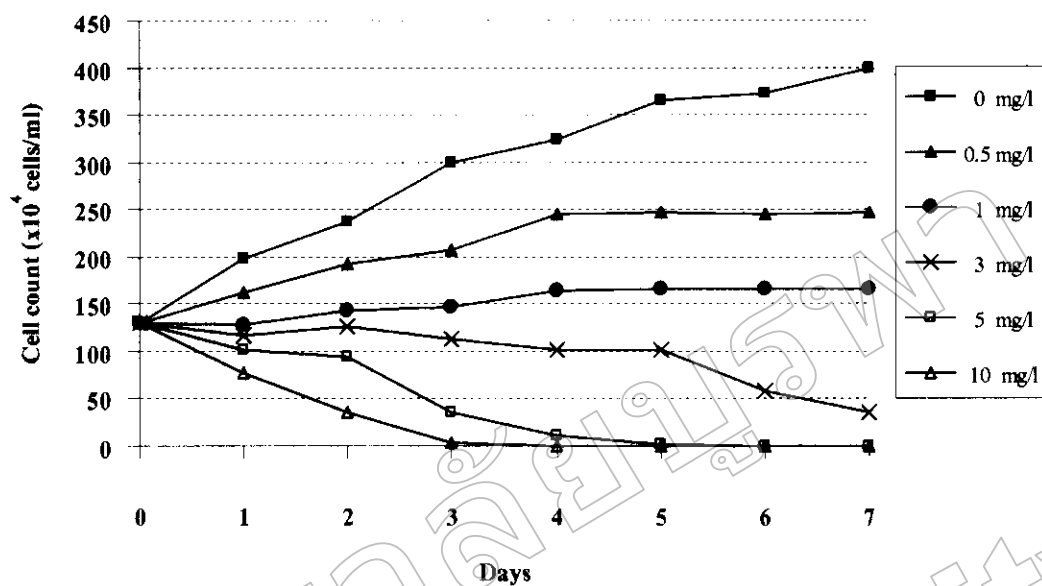
เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ แต่เมื่อได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 3 และ 5 mg/l มีผลให้จำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. ไม่แตกต่างกัน และที่ได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 1 และ 3 mg/l มีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิด และระดับความเข้มข้น โลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ แต่เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอท และ ทองแดงมีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน และเมื่อได้รับแคดเมียม และสารหนูสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน

2.5 การทดสอบผลของทองแดงที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

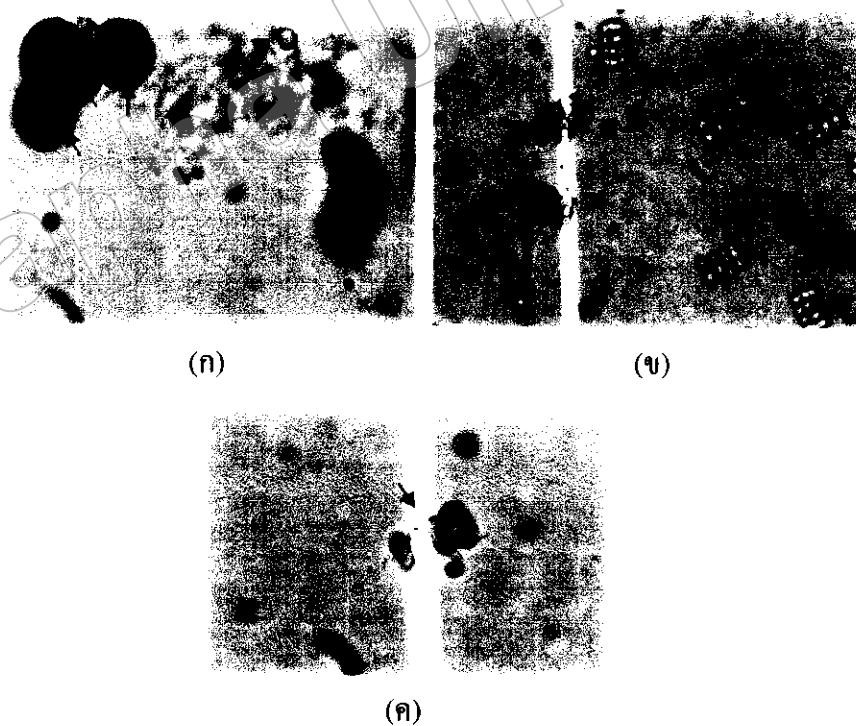
หลังจากที่ได้รับทองแดงเป็นเวลา 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l โดยการนับจำนวนเซลล์ พบว่า ทองแดงที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของ *Scenedesmus* sp. โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 14 และภาพที่ 27

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับทองแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	จำนวนเซลล์					
	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4	130.5 $\pm$ 0.4
1	196.9 $\pm$ 4.0	161.6 $\pm$ 4.8	128.2 $\pm$ 0.3	117.0 $\pm$ 0.7	101.4 $\pm$ 0.9	77.4 $\pm$ 0.4
2	237.4 $\pm$ 5.1	192.5 $\pm$ 1.1	143.3 $\pm$ 0.6	125.5 $\pm$ 2.9	93.6 $\pm$ 2.2	35.2 $\pm$ 4.7
3	298.8 $\pm$ 0.7	206.9 $\pm$ 1.6	146.9 $\pm$ 2.5	113.8 $\pm$ 5.2	35.1 $\pm$ 3.7	3.5 $\pm$ 0.9
4	323.3 $\pm$ 0.9	244.1 $\pm$ 2.6	163.0 $\pm$ 2.6	101.1 $\pm$ 1.7	10.7 $\pm$ 0.5	0.7 $\pm$ 0.6
5	365.6 $\pm$ 2.0	245.9 $\pm$ 0.2	166.6 $\pm$ 0.5	102.2 $\pm$ 1.9	1.4 $\pm$ 0.5	0.0 $\pm$ 0.0
6	373.1 $\pm$ 1.0	244.3 $\pm$ 1.2	166.0 $\pm$ 1.0	57.8 $\pm$ 2.3	0.1 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0
7	399.3 $\pm$ 0.7	245.7 $\pm$ 0.7	165.3 $\pm$ 0.6	35.1 $\pm$ 1.4	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0



ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 28 ลักษณะเซลล์ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับทองแดง เป็นเวลา 7 วัน (ก) เซลล์ที่ได้รับทองแดง 1 mg/l (ข) กลุ่มควบคุม (ค) เซลล์ที่ได้รับทองแดง 3 mg/l

จากภาพที่ 28 ลักษณะเซลล์ของ *Scenedesmus* sp. ที่ได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้น 3 mg/l เป็นเวลา 7 วันพบว่า เซลล์มีลักษณะต่างจากกลุ่มควบคุม คือเซลล์มีรูปร่างโตขึ้น ดังลูกศรชี้ภาพที่ 28 (ก) ซึ่งมีลักษณะต่างไปจากกลุ่มควบคุม ดังภาพที่ 28 (ข) และเซลล์บางส่วนถูกทำลาย คลอโรพลาสต์ทั้งเซลล์จนกระทั่งไม่มีสีเขียวภายในเซลล์ดังลูกศรชี้ ภาพที่ 28 (ค)

เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ แต่เมื่อได้รับทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 mg/l มีผลให้จำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Scenedesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ แต่เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับสารปรอท และทองแดงมีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน และเมื่อได้รับแคดเมียม และสารหนูสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยด้านสายพันธุ์ของสาหร่าย ชนิดและระดับโลหะหนักที่ได้รับด้วย Three-Way Fixed Factors ANOVA พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. มีจำนวนเซลล์สูงสุด รองลงมาคือ *Chlorella* sp. และ *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ และสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ตามลำดับ

3. การศึกษาความแตกต่างของจำนวนเซลล์ต่อชนิดและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับในสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp.

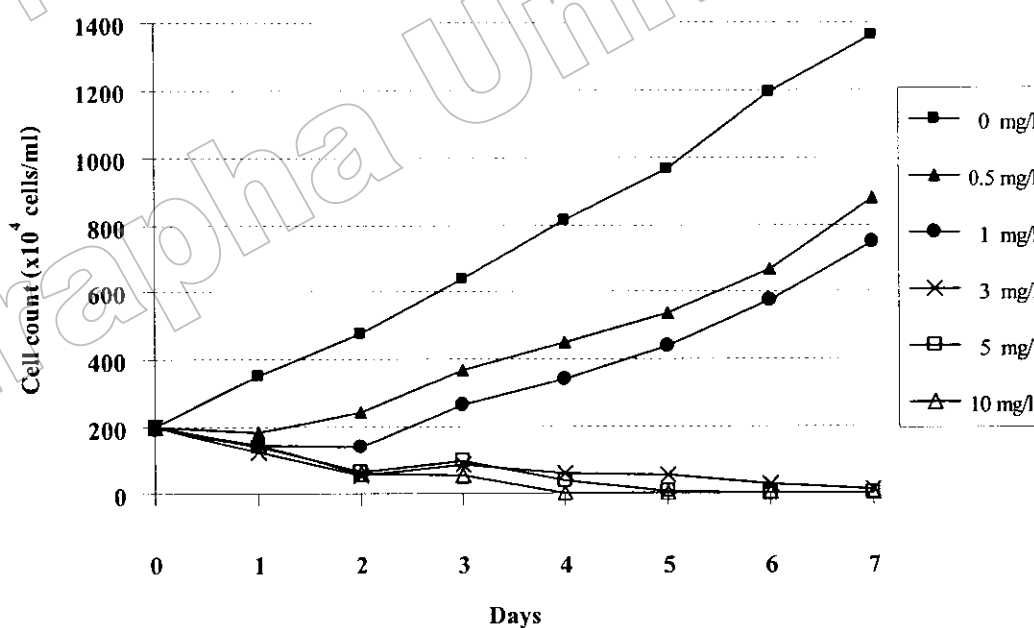
3.1 ทดสอบผลของสารปรอทที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp.

หลังจากได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์ พบว่า สารปรอทที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 15 และภาพที่ 29

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารปรอท ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9
1	352.4 $\pm$ 4.6	184.7 $\pm$ 1.6	145.8 $\pm$ 2.8	125.9 $\pm$ 1.0	142.1 $\pm$ 9.9	146.1 $\pm$ 6.5
2	477.5 $\pm$ 8.1	241.6 $\pm$ 4.3	143.0 $\pm$ 2.8	53.9 $\pm$ 4.4	65.3 $\pm$ 7.1	59.7 $\pm$ 5.5
3	640.5 $\pm$ 2.6	370.5 $\pm$ 4.4	265.3 $\pm$ 2.8	85.2 $\pm$ 4.7	99.4 $\pm$ 4.3	54.9 $\pm$ 9.9
4	814.9 $\pm$ 4.1	450.1 $\pm$ 5.7	343.9 $\pm$ 2.6	59.6 $\pm$ 3.3	37.8 $\pm$ 8.5	0.23 $\pm$ 0.1
5	967.5 $\pm$ 8.4	537.2 $\pm$ 2.9	437.7 $\pm$ 1.7	56.8 $\pm$ 1.6	4.2 $\pm$ 2.1	0.0 $\pm$ 0.0
6	1192.1 $\pm$ 4.6	668.9 $\pm$ 3.7	575.2 $\pm$ 5.0	29.3 $\pm$ 2.8	0.6 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
7	1364.6 $\pm$ 3.7	877.5 $\pm$ 2.3	748.6 $\pm$ 2.8	9.4 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

n = 3



ภาพที่ 29 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. หลังจากได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 30 ลักษณะเซลล์ *Anastrodesmus* sp. หลังจากได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l เป็นเวลา 7 วัน (ก) เซลล์ที่ได้รับสารปรอท (ข) กลุ่มควบคุม

จากภาพที่ 30 แสดงลักษณะเซลล์ที่ได้รับสารปรอท 1 mg/l เป็นเวลา 7 วัน พบว่าเซลล์มีลักษณะเนื่องจากมีการสูญเสียคลอโรพลาสต์ในเซลล์ คลอโรพลาสต์แตกออกเป็นจุดเล็ก ๆ กระจายอยู่ภายในเซลล์ และเซลล์บางส่วนถูกทำลายคลอโรพลาสต์ (ดังถูกครี) และเมื่อได้รับที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่ามีผลให้คลอโรพลาสต์ในเซลล์ถูกทำลายทั้งเซลล์ เนื่องจากสารปรอทมีผลยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรพลาสต์ สำหรับที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่ามีผลให้เซลล์ถูกทำลายคลอโรพลาสต์ทั้งเซลล์

เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Anastrodesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่าเมื่อสำหรับ *Anastrodesmus* sp. ได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสำหรับ *Anastrodesmus* sp. ได้รับสารปรอท ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นไปมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Anastrodesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสำหรับ *Anastrodesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุดรองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ

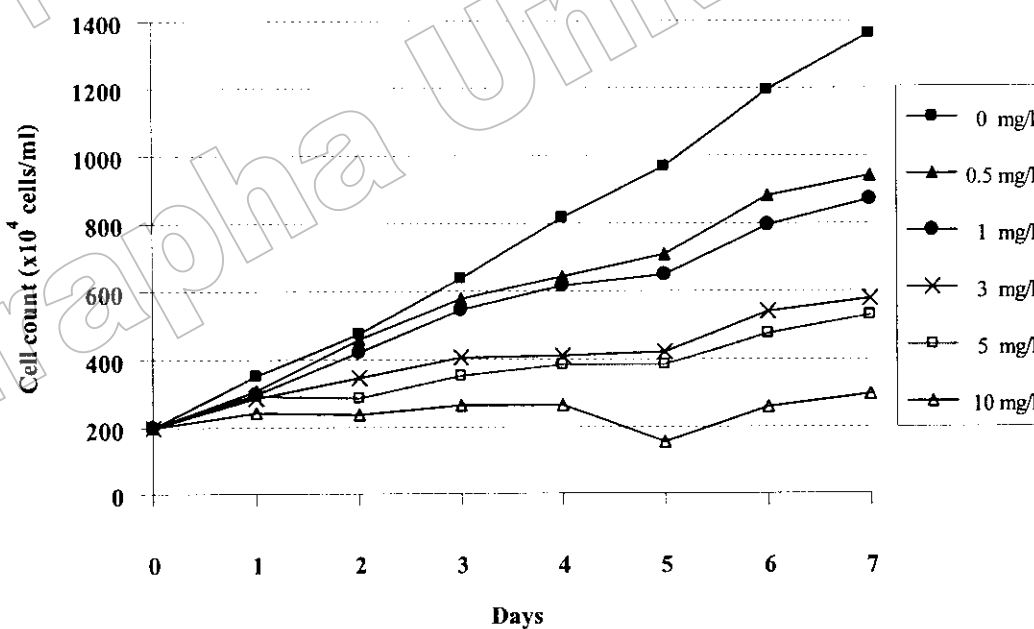
3.2 ทดสอบผลของแคดเมียมที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Anastrodesmus* sp.

หลังจากได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์ พบว่าแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 16 และภาพที่ 31

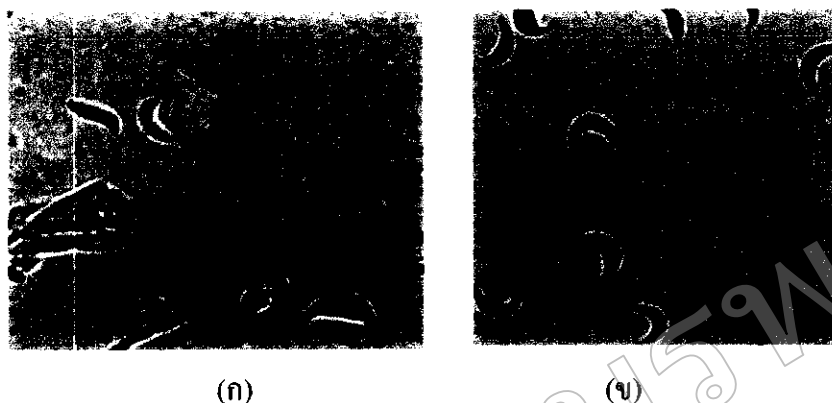
ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับ แคลเมียม ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9
1	352.4 $\pm$ 4.6	307.9 $\pm$ 2.4	298.4 $\pm$ 1.0	285.2 $\pm$ 5.2	293.7 $\pm$ 1.9	241.8 $\pm$ 4.3
2	477.5 $\pm$ 8.1	457.6 $\pm$ 4.1	419.7 $\pm$ 3.8	345.8 $\pm$ 3.1	286.1 $\pm$ 1.0	239.7 $\pm$ 0.3
3	640.5 $\pm$ 2.6	576.1 $\pm$ 1.0	544.8 $\pm$ 0.3	404.6 $\pm$ 1.1	351.5 $\pm$ 0.7	263.4 $\pm$ 1.6
4	814.9 $\pm$ 4.1	641.5 $\pm$ 4.4	615.9 $\pm$ 4.1	411.2 $\pm$ 2.6	381.8 $\pm$ 2.9	263.4 $\pm$ 2.9
5	967.5 $\pm$ 8.4	708.8 $\pm$ 4.9	647.2 $\pm$ 2.5	421.6 $\pm$ 0.5	383.7 $\pm$ 1.6	158.2 $\pm$ 2.5
6	1192.1 $\pm$ 4.6	883.1 $\pm$ 4.4	793.1 $\pm$ 0.9	538.2 $\pm$ 0.2	477.5 $\pm$ 1.1	258.6 $\pm$ 2.1
7	1364.6 $\pm$ 3.7	939.1 $\pm$ 4.1	869.9 $\pm$ 1.8	577.0 $\pm$ 2.2	529.7 $\pm$ 4.5	294.6 $\pm$ 7.4

ภาพที่ 31



ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. หลังจากได้รับแคลเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 32 ลักษณะเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. หลังจากได้รับที่แคดเมียม เป็นเวลา 7 วัน (ก) เซลล์ที่ได้รับแคดเมียม 1 mg/l (ข) กลุ่มควบคุม

จากภาพที่ 32 ลักษณะเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. ที่ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l เป็นเวลา 7 วันพบว่า เซลล์มีลักษณะต่างจากกลุ่มควบคุม มีรูปร่างผิดปกติ คือบริเวณตรงกลางเซลล์มีรูปร่างโป่งพอง (Swelling Cell) ขึ้น ดังลูกศรชี้ ภาพที่ 32 (ก) ซึ่งมีลักษณะต่างไปจากกลุ่มควบคุม ดังภาพที่ 32 (ข) และที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ เซลล์บางส่วนยังถูกทำลาย คลอโรพลาสต์เกือบทั้งเซลล์ และเมื่อได้รับที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่ามีผลให้เซลล์ถูกทำลายทั้งเซลล์

เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่าเมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับแคดเมียม ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ

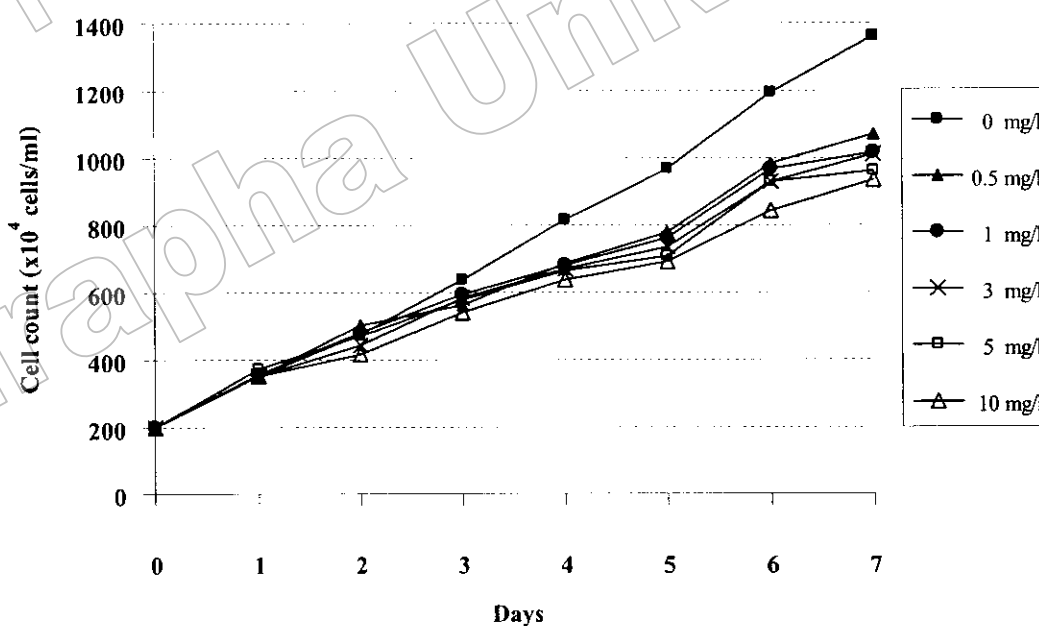
3.3 ทดสอบผลของสารตะกั่วที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp.

หลังจากได้รับสารตะกั่ว ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์ พบว่าสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 17 และภาพที่ 33

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารตะกั่ว ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9
1	352.4 $\pm$ 4.6	352.5 $\pm$ 4.4	359.1 $\pm$ 3.4	353.4 $\pm$ 0.4	370.5 $\pm$ 5.0	353.4 $\pm$ 0.8
2	477.5 $\pm$ 8.1	500.3 $\pm$ 2.8	483.2 $\pm$ 1.9	441.5 $\pm$ 1.8	469.0 $\pm$ 0.0	418.8 $\pm$ 3.1
3	640.5 $\pm$ 2.6	561.9 $\pm$ 2.3	596.0 $\pm$ 8.5	583.7 $\pm$ 1.3	577.9 $\pm$ 1.3	539.1 $\pm$ 2.0
4	814.9 $\pm$ 4.1	686.0 $\pm$ 5.0	681.3 $\pm$ 1.6	669.9 $\pm$ 1.9	667.1 $\pm$ 4.0	637.7 $\pm$ 4.0
5	967.5 $\pm$ 8.4	777.9 $\pm$ 2.1	762.8 $\pm$ 3.0	732.5 $\pm$ 0.8	705.9 $\pm$ 3.4	694.6 $\pm$ 1.6
6	1192.1 $\pm$ 4.6	982.7 $\pm$ 1.8	967.9 $\pm$ 1.1	930.5 $\pm$ 2.5	929.6 $\pm$ 1.0	844.3 $\pm$ 1.7
7	1364.6 $\pm$ 3.7	1071.7 $\pm$ 3.3	1018.7 $\pm$ 3.7	1009.2 $\pm$ 1.8	959.9 $\pm$ 2.4	934.3 $\pm$ 5.1

$n = 3$



ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. หลังจากได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับสารตะกั่ว ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นไปมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ

สำหรับลักษณะเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. ที่ได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า เซลล์มีลักษณะไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม แต่เมื่อได้รับสารตะกั่วสูงกว่าระดับความเข้มข้น 10 mg/l มีผลให้สาหร่ายตายทั้งหมด

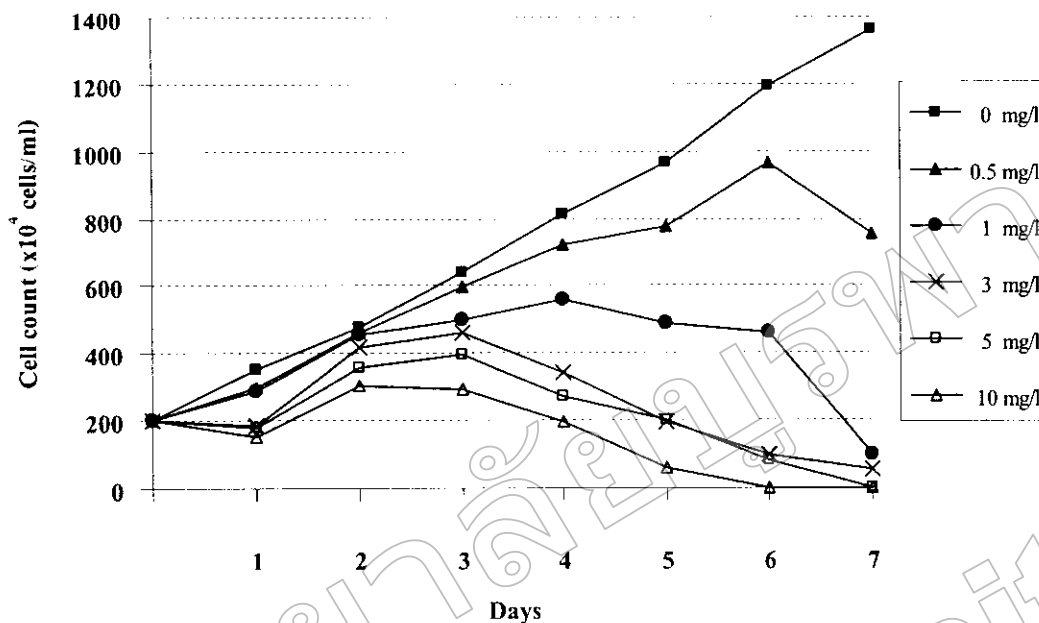
3.4 ทดสอบผลของสารหนูที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp.

หลังจากได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน โดยการนับจำนวนเซลล์ พบว่าสารหนูที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 18 และภาพที่ 34

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
0	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9	201.8 $\pm$ 5.9
1	352.4 $\pm$ 4.6	299.4 $\pm$ 0.9	290.2 $\pm$ 0.9	184.2 $\pm$ 0.9	179.5 $\pm$ 2.4	151.1 $\pm$ 2.6
2	477.5 $\pm$ 8.1	461.4 $\pm$ 2.1	456.7 $\pm$ 0.3	419.7 $\pm$ 2.1	395.5 $\pm$ 1.4	304.1 $\pm$ 1.9
3	640.5 $\pm$ 2.6	598.8 $\pm$ 2.3	498.8 $\pm$ 2.6	461.9 $\pm$ 1.3	295.6 $\pm$ 1.8	290.4 $\pm$ 1.9
4	814.9 $\pm$ 4.1	721.1 $\pm$ 3.8	599.0 $\pm$ 4.4	344.3 $\pm$ 2.4	269.5 $\pm$ 1.7	195.0 $\pm$ 1.7
5	967.5 $\pm$ 8.4	776.1 $\pm$ 1.1	488.0 $\pm$ 1.5	194.6 $\pm$ 1.8	198.3 $\pm$ 1.1	61.4 $\pm$ 1.1
6	1192.1 $\pm$ 4.6	963.7 $\pm$ 4.9	463.7 $\pm$ 2.6	98.5 $\pm$ 0.9	82.7 $\pm$ 3.3	0.0 $\pm$ 0.0
7	1364.6 $\pm$ 3.7	754.7 $\pm$ 2.8	96.4 $\pm$ 2.7	52.8 $\pm$ 0.6	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

$n = 3$



ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. หลังจากได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่าเมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ

สำหรับลักษณะเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. ที่ได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วันพบว่า เซลล์มีลักษณะต่างจากกลุ่มควบคุม คือเซลล์บางส่วนถูกทำลาย คลอโรพิลล์เกือบทั้งเซลล์ เนื่องจากสารหนูเข้าไปมีผลต่อกระบวนการสร้างพลังงาน ATP ในเซลล์ ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 mg/l มีผลให้เซลล์ตายทั้งหมด

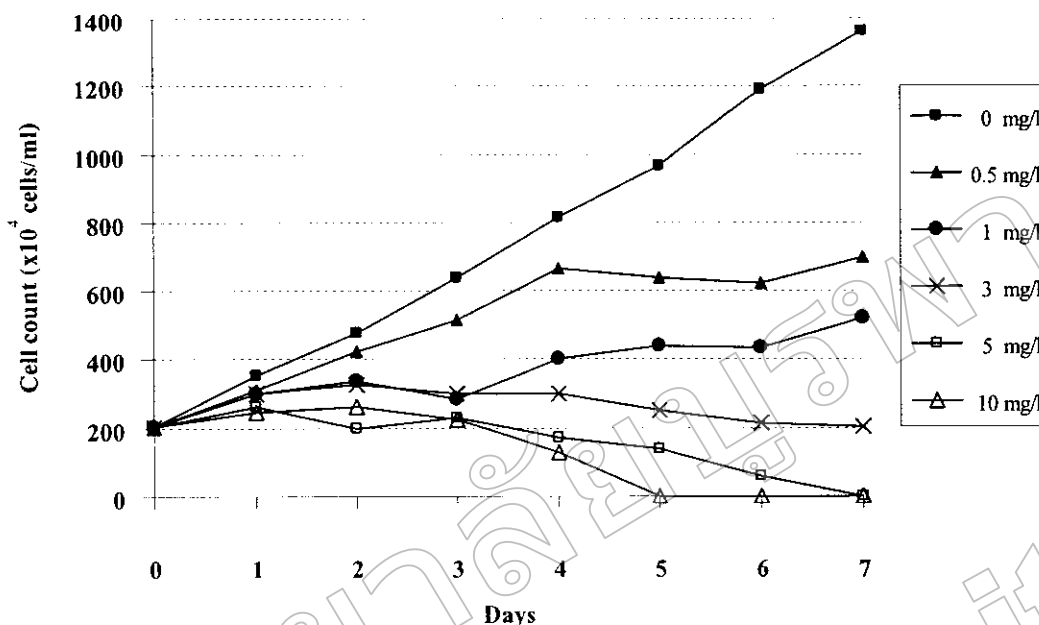
3.5 การทดสอบผลของทองแดงที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp.

หลังจากที่ได้รับทองแดง เป็นเวลา 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l โดยการนับจำนวนเซลล์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า ทองแดงที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 mg/l มีผลยับยั้งการเจริญของ *Ankistrodesmus* sp. โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ $\times 10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร (Mean $\pm$ SD) แสดงดังตารางที่ 19 และภาพที่ 35

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับทองแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน

วันที่	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
1	352.4 $\pm$ 4.6	313.6 $\pm$ 3.9	299.4 $\pm$ 2.6	302.2 $\pm$ 1.8	260.5 $\pm$ 1.4	248.2 $\pm$ 1.7
2	477.5 $\pm$ 8.1	424.5 $\pm$ 2.0	335.4 $\pm$ 1.6	325.9 $\pm$ 0.8	200.3 $\pm$ 2.3	264.3 $\pm$ 1.5
3	640.5 $\pm$ 2.6	514.5 $\pm$ 1.3	286.1 $\pm$ 0.1	302.2 $\pm$ 1.1	230.7 $\pm$ 2.6	225.5 $\pm$ 1.6
4	814.9 $\pm$ 4.1	667.1 $\pm$ 1.1	402.2 $\pm$ 2.0	299.4 $\pm$ 1.2	230.7 $\pm$ 1.4	127.4 $\pm$ 0.9
5	967.5 $\pm$ 8.4	638.6 $\pm$ 0.5	439.2 $\pm$ 2.1	253.4 $\pm$ 1.8	174.2 $\pm$ 2.6	2.3 $\pm$ 0.0
6	1192.1 $\pm$ 4.6	621.5 $\pm$ 1.6	434.4 $\pm$ 0.9	212.9 $\pm$ 1.8	61.4 $\pm$ 1.4	0.0 $\pm$ 0.0
7	1364.6 $\pm$ 3.7	696.7 $\pm$ 0.7	518.7 $\pm$ 1.6	201.9 $\pm$ 2.2	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

n = 3



ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. หลังจากได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

เมื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. ด้วย Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้จำนวนเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวได้ว่า เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับทองแดง ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของโลหะหนักที่ได้รับต่อจำนวนเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ

สำหรับลักษณะเซลล์ของ *Ankistrodesmus* sp. ที่ได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วันพบว่า เซลล์มีลักษณะต่างจากกลุ่มควบคุม คือเซลล์บางส่วนถูกทำลาย คลอโรพลาสต์เกือบทั้งเซลล์

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยด้านสายพันธุ์ของสาหร่าย ชนิดและระดับโลหะหนักที่ได้รับด้วย Three-Way Fixed Factors ANOVA พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. มีจำนวนเซลล์สูงสุด

รองลงมาคือ *Chlorella* sp. และ *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ และสารปรอทมีผลให้จำนวนเซลล์ต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ตามลำดับ

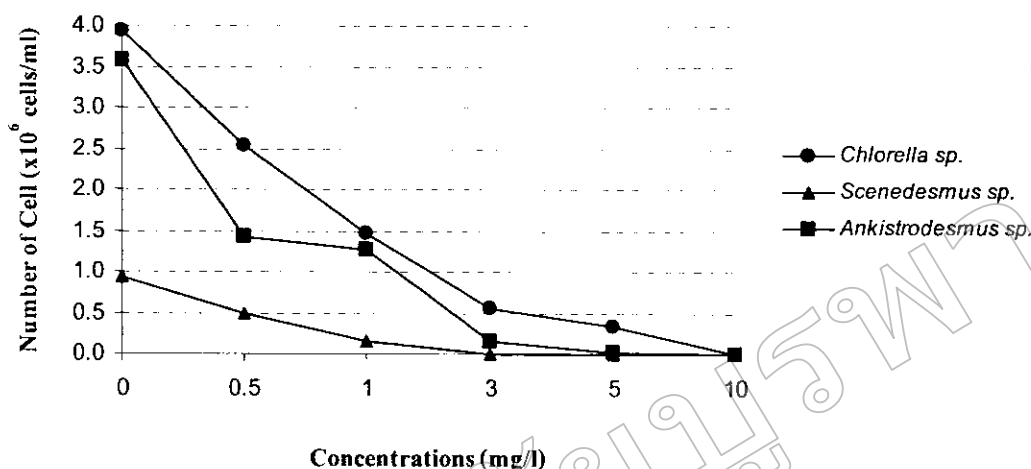
4. การศึกษาความแตกต่างของจำนวนเซลล์ต่อสายพันธุ์และระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับในสาหร่าย 3 ชนิด จาก Competition Growth

4.1 ทดสอบผลของสารปรอทที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. โดยเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์รวมกันในอาหาร (Media) ที่มีโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) หลังจากเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ได้รับสารปรอทเป็นเวลา 7 พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. มีค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ในวันที่ 7 สูงสุด รองลงมาคือ สาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. และสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์/ มิลลิลิตร) แสดงตารางที่ 20 และภาพที่ 3 และจากผลการทดลองพบว่า จำนวนเซลล์ของสาหร่ายลดลงเมื่อได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น และที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 3 mg/l มีผลให้สาหร่าย *Scenedesmus* sp. ตายทั้งหมด สำหรับสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. มีผลให้สาหร่ายตายทั้งหมด ที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/l

ตารางที่ 20 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ในวันที่ 7 ของสาหร่าย ($\times 10^4$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารปรอท ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

สาหร่าย	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
<i>Chlorella</i> sp.	3.9 $\pm$ 0.7	2.5 $\pm$ 0.7	1.5 $\pm$ 0.3	0.6 $\pm$ 0.2	0.3 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0
<i>Scenedesmus</i> sp.	0.9 $\pm$ 0.2	0.5 $\pm$ 0.1	0.2 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	3.6 $\pm$ 0.5	1.4 $\pm$ 0.4	1.3 $\pm$ 0.1	0.2 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

n = 3



ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *Chlorella sp.*, *Scenedesmus sp.* และ *Ankistrodesmus sp.* เมื่อได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

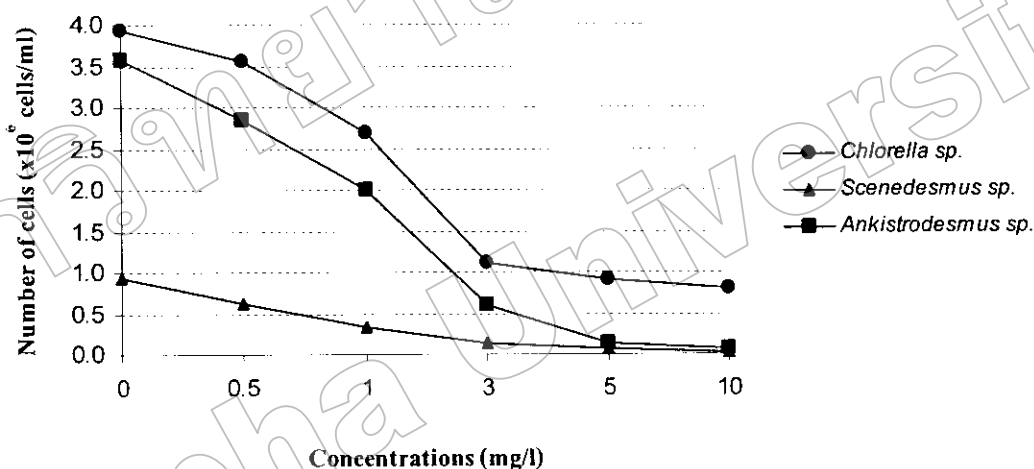
เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติของจำนวนเซลล์ในสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์เมื่อได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และระดับความเข้มข้นที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้น 3, 5 และ 10 mg/l จำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้สาหร่ายตายทั้งหมด เมื่อพิจารณาจำนวนเซลล์ที่ลดลงของสาหร่ายที่ได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า สาหร่าย *Chlorella sp.* มีความทนทานต่อสารปรอทสูงกว่าสาหร่าย *Ankistrodesmus sp.* และ *Scenedesmus sp.* ตามลำดับ

4.2 ทดสอบผลของแคดเมียมที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella sp.*, *Scenedesmus sp.* และ *Ankistrodesmus sp.* โดยเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์รวมกันในอาหาร (Media) ที่มีโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) หลังจากทีสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ได้รับแคดเมียมเป็นเวลา 7 วัน พบว่า สาหร่าย *Chlorella sp.* มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์สูงสุด รองลงมา คือ *Ankistrodesmus sp.* และ *Scenedesmus sp.* ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 21 และภาพที่ 37

ตารางที่ 21 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ในวันที่ 7 ของสาหร่าย ($\times 10^6$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับ แคลเมียม ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

สาหร่าย	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
<i>Chlorella</i> sp.	3.9 $\pm$ 0.7	3.6 $\pm$ 0.1	2.7 $\pm$ 0.7	1.1 $\pm$ 0.7	0.9 $\pm$ 0.5	0.8 $\pm$ 0.2
<i>Scenedesmus</i> sp.	0.9 $\pm$ 0.2	0.6 $\pm$ 0.1	0.3 $\pm$ 0.0	0.1 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	3.6 $\pm$ 0.5	2.8 $\pm$ 0.1	2.0 $\pm$ 0.4	0.6 $\pm$ 0.6	0.1 $\pm$ 0.0	0.1 $\pm$ 0.0

n = 3



ภาพที่ 37 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. เมื่อได้รับแคลเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติของจำนวนเซลล์ในสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์เมื่อได้รับ แคลเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และระดับความเข้มข้นที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้น 3, 5 และ 10 mg/l จำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจำนวนเซลล์ที่ลดลงของสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่อได้รับแคลเมียมที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. มีความทนทานต่อแคลเมียมสูงกว่าสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ

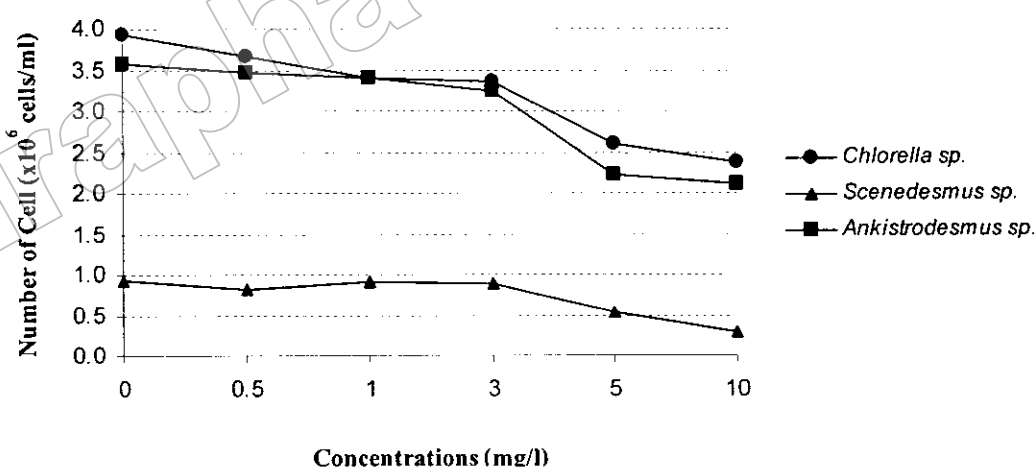
4.3 ทดสอบผลของสารตะกั่วที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp.,

Scenedesmus sp. และ *Ankistrodesmus* sp. โดยเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์รวมกันในอาหาร (Media) ที่มีโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) หลังจากที่ได้เลี้ยงสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ได้รับสารตะกั่วเป็นเวลา 7 วัน พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์สูงสุด รองลงมา คือ *Ankistrodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 22 และภาพที่ 38

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ในวันที่ 7 ของสาหร่าย ($\times 10^6$ เซลล์/มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารตะกั่ว ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

สาหร่าย	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
<i>Chlorella</i> sp.	3.9 $\pm$ 0.7	3.7 $\pm$ 1.2	3.4 $\pm$ 0.3	3.4 $\pm$ 0.3	2.6 $\pm$ 0.4	2.4 $\pm$ 0.4
<i>Scenedesmus</i> sp.	0.9 $\pm$ 0.2	0.8 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.2	0.5 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.3
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	3.6 $\pm$ 0.5	3.5 $\pm$ 0.5	3.4 $\pm$ 0.3	3.2 $\pm$ 0.2	2.2 $\pm$ 0.1	2.1 $\pm$ 0.5

n = 3



ภาพที่ 38 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. เมื่อได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติของจำนวนเซลล์ในสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์เมื่อได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1 และ 3 mg/l จำนวนเซลล์ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 mg/l มีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจำนวนเซลล์ที่ลดลงของสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่อได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า จำนวนเซลล์ในสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. ไม่แตกต่างกันแต่มีความแตกต่างใน *Scenedesmus* sp. โดยที่ *Chlorella* sp. มีความทนทานต่อสารตะกั่วสูงกว่าสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ

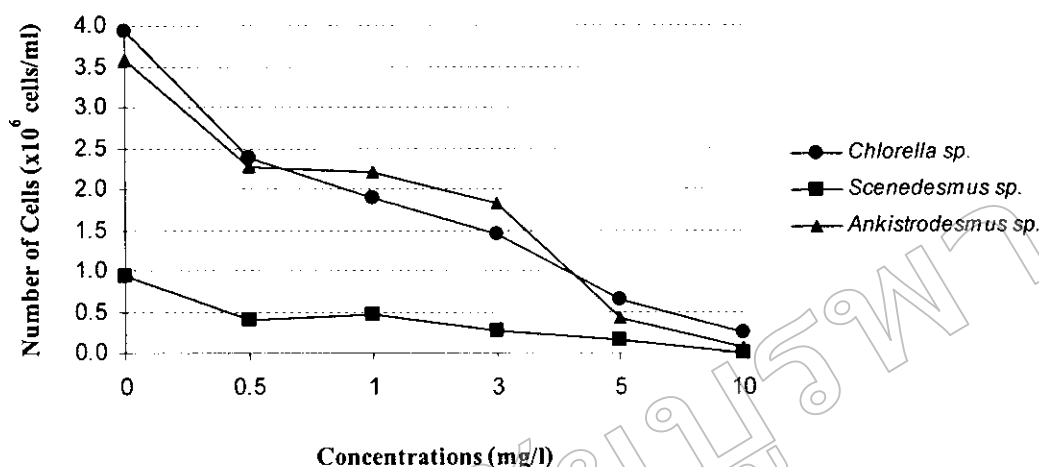
4.4 ทดสอบผลของสารหนูที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp.,

Scenedesmus sp. และ *Ankistrodesmus* sp. โดยเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์รวมกันในอาหาร (Media) ที่มีโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) หลังจากที่ได้รับทั้ง 3 สายพันธุ์ได้รับสารหนูเป็นเวลา 7 วัน พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์สูงสุด รองลงมา คือ *Ankistrodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. มีค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ในวันที่ 7 ต่ำที่สุด ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 23 และภาพที่ 39

ตารางที่ 23 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ในวันที่ 7 ของสาหร่าย ($\times 10^6$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับสารหนู ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

สาหร่าย	ระดับความเข้มข้น (mg/ l)					
	0	0.5	1	3	5	10
<i>Chlorella</i> sp.	3.9 $\pm$ 0.7	2.7 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.4	1.4 $\pm$ 0.4	0.6 $\pm$ 0.5	0.3 $\pm$ 0.4
<i>Scenedesmus</i> sp.	0.9 $\pm$ 0.2	0.4 $\pm$ 0.2	0.5 $\pm$ 0.3	0.3 $\pm$ 0.1	0.2 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	3.6 $\pm$ 0.5	2.3 $\pm$ 0.9	2.2 $\pm$ 0.7	1.8 $\pm$ 0.5	0.4 $\pm$ 0.4	0.1 $\pm$ 0.1

n = 3



ภาพที่ 39 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. เมื่อได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติของจำนวนเซลล์ในสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์เมื่อได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 1 mg/l จำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน และที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 mg/l มีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจำนวนเซลล์ที่ลดลงของสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่อได้รับสารหนูที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า จำนวนเซลล์ในสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. ไม่แตกต่างกันแต่มีความแตกต่างใน *Scenedesmus* sp. โดยที่ *Chlorella* sp. มีความทนทานต่อสารตะกั่วสูงกว่าสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ

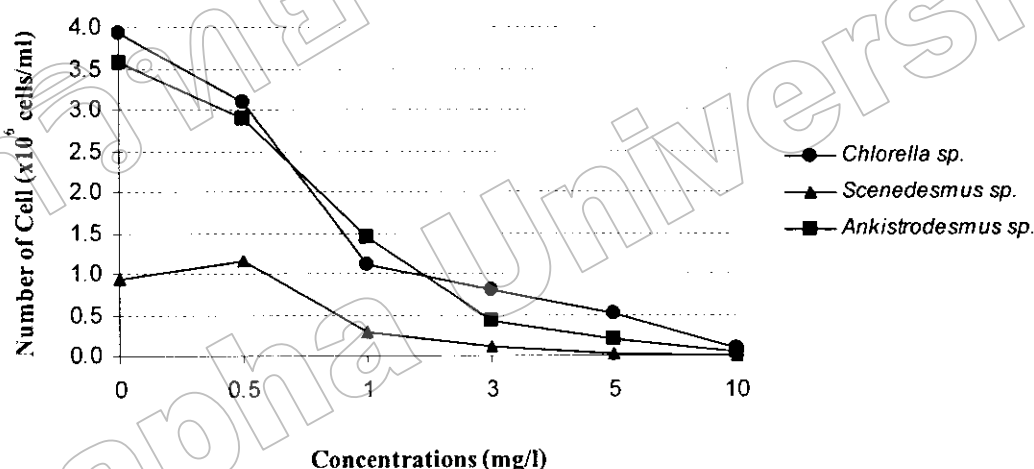
4.5 ทดสอบผลของทองแดงที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp.,

Scenedesmus sp. และ *Ankistrodesmus* sp. โดยเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ร่วมกันในอาหาร (Media) ที่มีโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) หลังจากที่สาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ได้รับทองแดง เป็นเวลา 7 วัน พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์สูงสุด รองลงมา คือ *Ankistrodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. มีค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ในวันที่ 7 ต่ำที่สุด ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 24 และภาพที่ 40

ตารางที่ 24 ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ในวันที่ 7 ของสาหร่าย ($\times 10^6$ เซลล์/ มิลลิลิตร) หลังจากที่ได้รับ
ทองแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

สาหร่าย	ระดับความเข้มข้น (mg/ l)					
	0	0.5	1	3	5	10
<i>Chlorella</i> sp.	3.9 $\pm$ 0.7	3.1 $\pm$ 0.8	1.1 $\pm$ 0.2	0.8 $\pm$ 0.0	0.5 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.0
<i>Scenedesmus</i> sp.	0.9 $\pm$ 0.2	1.2 $\pm$ 0.7	0.3 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	3.6 $\pm$ 0.5	2.9 $\pm$ 0.4	1.5 $\pm$ 0.8	0.4 $\pm$ 0.0	0.2 $\pm$ 0.2	0.1 $\pm$ 0.1

n = 3



ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. เมื่อได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/ l) เป็นเวลา 7 วัน

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติของจำนวนเซลล์ในสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์เมื่อได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิด และระดับความเข้มข้นที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้น 3 และ 5 mg/ l และที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 mg/ l มีจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจำนวนเซลล์ที่ลดลงของสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่อได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าจำนวนเซลล์ในสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Ankistrodesmus* sp. ไม่แตกต่างกันแต่มีความแตกต่าง

ใน *Scenedesmus* sp. โดยที่ *Chlorella* sp. มีความทนทานต่อทองแดงสูงกว่าสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. และ *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักรูปร่างของสาหร่าย เมื่อได้รับโลหะหนัก แต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

การทดสอบผลของโลหะหนักต่อปริมาณน้ำหนักรูปร่างของสาหร่ายแต่ละชนิด หลังจากได้รับสารปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู และทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD_{560}) แล้วจึงนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณน้ำหนักรูปร่าง ได้ผลการทดลองดังนี้

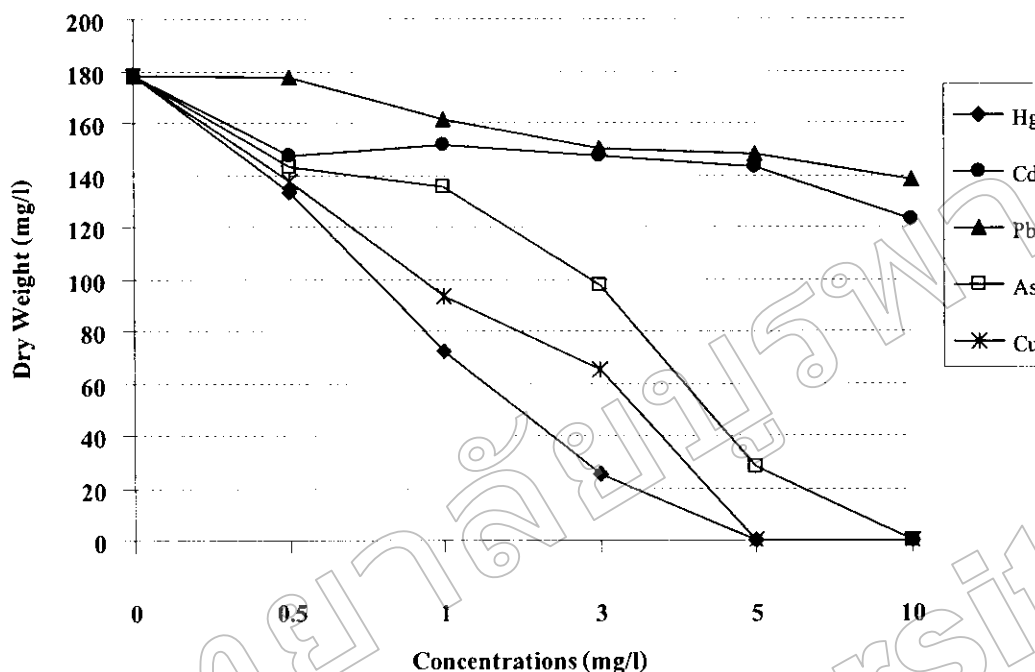
1. ปริมาณน้ำหนักรูปร่างในสาหร่าย *Chlorella* sp.

ผลจากการคำนวณปริมาณน้ำหนักรูปร่างจากกราฟมาตรฐานของ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน พบว่าสารปรอทมีผลให้น้ำหนักรูปร่างของ *Chlorella* sp. ลดลงต่ำสุด รองลงมา คือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และสารตะกั่ว ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 25 และภาพที่ 41

ตารางที่ 25 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรูปร่างของ *Chlorella* sp. (mg/l) หลังจากที่ได้รับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

โลหะหนัก	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
สารปรอท	178.2 $\pm$ 4.5	133.1 $\pm$ 2.2	71.9 $\pm$ 0.7	25.4 $\pm$ 2.8	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
แคดเมียม	178.2 $\pm$ 4.5	147.2 $\pm$ 0.7	151.8 $\pm$ 0.4	147.1 $\pm$ 5.9	143.2 $\pm$ 1.1	123.1 $\pm$ 2.6
สารตะกั่ว	178.2 $\pm$ 4.5	177.2 $\pm$ 3.5	161.1 $\pm$ 0.3	149.9 $\pm$ 1.5	148.4 $\pm$ 1.5	138.5 $\pm$ 4.1
สารหนู	178.2 $\pm$ 4.5	143.0 $\pm$ 4.5	135.2 $\pm$ 3.7	97.5 $\pm$ 2.2	28.4 $\pm$ 0.9	0.0 $\pm$ 0.1
ทองแดง	178.2 $\pm$ 4.5	137.6 $\pm$ 0.3	93.4 $\pm$ 2.8	64.9 $\pm$ 3.3	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

$n = 3$



ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

จากภาพที่ 41 แสดงให้เห็นว่า แคดเมียม และสารตะกั่วแสดงผลต่อน้ำหนักแห้งของสาหร่ายน้อยกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ๆ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Three Way Fixed Factor ANOVA พบว่า ความแตกต่างของปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสายพันธุ์ของสาหร่าย ชนิดและระดับโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สายพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดได้แก่ *Scenedesmus* sp. รองลงมาคือ *Ankistrodesmus* sp. และ *Chlorella* sp. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างชนิดและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับ *Chlorella* sp. เมื่อทดสอบรายคู่โดยวิธีของ Duncan พบว่า เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับโลหะที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งแตกต่างกัน และเมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับโลหะต่างชนิดที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า มีปริมาณน้ำหนักแห้งแตกต่างกัน แต่ไม่แตกต่างกันเมื่อได้รับสารปรอท ทองแดง และสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/l

2. ปริมาณน้ำหนักแห้งในสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

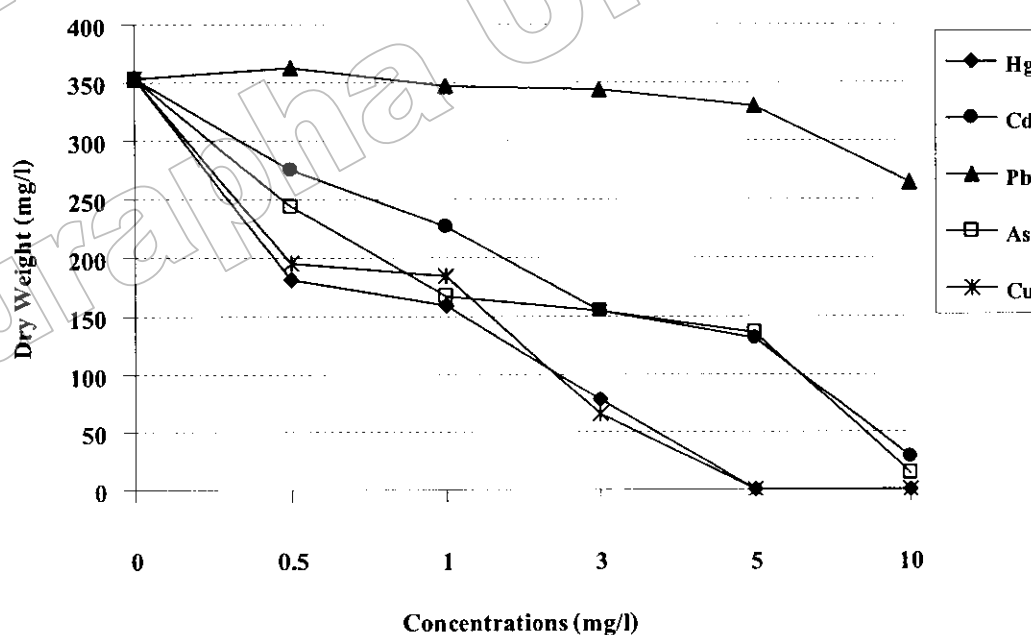
ผลจากการคำนวณปริมาณน้ำหนักแห้งจากกราฟมาตรฐานของ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7

วัน พบว่า สารปรอทมีผลให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายลดลงต่ำสุด รองลงมา คือ ทองแดง แคลเมียม สารหนู และสารตะกั่ว ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 26 และภาพที่ 42

ตารางที่ 26 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของ *Scenedesmus* sp. (mg/l) หลังจากที่ได้รับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

โลหะหนัก	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
สารปรอท	353.3 $\pm$ 2.7	181.8 $\pm$ 3.7	159.4 $\pm$ 7.6	77.7 $\pm$ 8.6	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
แคลเมียม	353.3 $\pm$ 2.7	274.7 $\pm$ 2.2	226.4 $\pm$ 6.7	154.4 $\pm$ 3.7	130.9 $\pm$ 0.5	28.3 $\pm$ 0.5
สารตะกั่ว	353.3 $\pm$ 2.7	177.2 $\pm$ 3.5	161.1 $\pm$ 0.3	149.9 $\pm$ 1.5	148.4 $\pm$ 1.5	138.5 $\pm$ 4.1
สารหนู	353.3 $\pm$ 2.7	244.5 $\pm$ 3.7	166.7 $\pm$ 2.8	154.4 $\pm$ 2.3	136.6 $\pm$ 2.4	14.8 $\pm$ 0.5
ทองแดง	353.3 $\pm$ 2.7	362.7 $\pm$ 8.3	346.1 $\pm$ 1.4	344.0 $\pm$ 5.8	328.9 $\pm$ 5.7	264.7 $\pm$ 7.6

n=3



ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของ *Scenedesmus* sp. หลังจากได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Three Way Fixed Factor ANOVA พบว่า ความแตกต่างของปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสายพันธุ์ของสาหร่าย ชนิดและระดับโลหะหนักที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สายพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดได้แก่ *Scenedesmus* sp. รองลงมาคือ *Ankistrodesmus* sp. และ *Chlorella* sp. ตามลำดับ เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับระดับความเข้มข้นของโลหะหนักสูงขึ้นมีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งลดลง แต่เมื่อสาหร่ายได้รับสารหนู และทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างชนิดและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับ พบว่า เมื่อสาหร่ายได้รับโลหะต่างชนิดกันที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน มีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของ *Scenedesmus* sp. ต่างกัน แต่เมื่อได้รับโลหะหนักที่ชนิดและระดับความเข้มข้นดังนี้มีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน

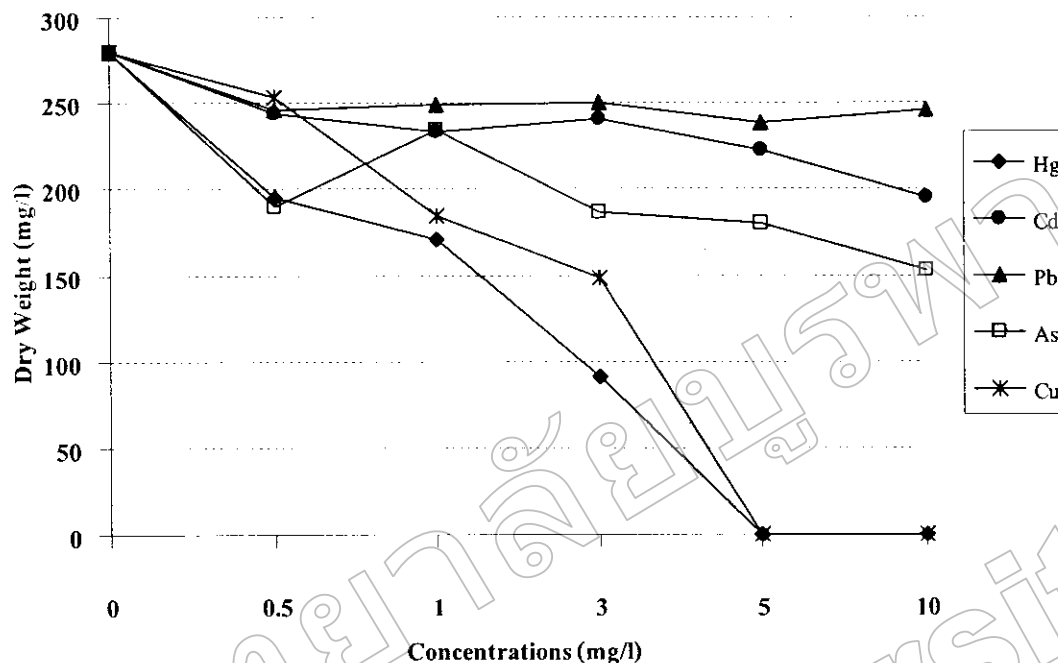
- สารปรอท และทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 5 mg/l
- สารปรอท และสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l
- สารหนู และแคดเมียม ที่ระดับความเข้มข้น 3 mg/l
- สารปรอท ทองแดง แคดเมียม และสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/l

3. ปริมาณน้ำหนักแห้งในสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp.

ผลจากการคำนวณปริมาณน้ำหนักแห้งจากกราฟมาตรฐานของ *Ankistrodesmus* sp. หลังจากได้รับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วัน พบว่า สารปรอทมีผลให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง แคดเมียม สารหนู และสารตะกั่ว ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 27 และภาพที่ 43

ตารางที่ 27 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของ *Ankistrodesmus* sp. (mg/l) หลังจากที่ได้รับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

โลหะหนัก	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
สารปรอท	297.5 $\pm$ 8.9	195.6 $\pm$ 1.3	171.2 $\pm$ 3.6	91.1 $\pm$ 6.6	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
แคดเมียม	297.5 $\pm$ 8.9	243.5 $\pm$ 1.7	233.7 $\pm$ 3.6	240.3 $\pm$ 4.9	223.0 $\pm$ 3.3	195.6 $\pm$ 6.5
สารตะกั่ว	297.5 $\pm$ 8.9	246.2 $\pm$ 1.0	248.8 $\pm$ 3.6	249.9 $\pm$ 2.6	238.7 $\pm$ 8.5	245.5 $\pm$ 3.0
สารหนู	297.5 $\pm$ 8.9	189.3 $\pm$ 1.0	234.6 $\pm$ 3.4	186.6 $\pm$ 2.3	179.9 $\pm$ 1.9	152.6 $\pm$ 8.2
ทองแดง	297.5 $\pm$ 8.9	253.4 $\pm$ 4.9	184.2 $\pm$ 2.9	148.2 $\pm$ 6.6	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0



ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของ *Ankistrodesmus* sp. หลังจากได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 96 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบความแตกต่าง ของปริมาณน้ำหนักแห้งในสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่ได้รับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l โดย Three-Way Fixed Factor ANOVA พบว่า ความแตกต่างของปริมาณน้ำหนักแห้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์สาหร่าย ชนิด และระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ สาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมาคือ สาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. และสาหร่าย *Chlorella* sp. มีปริมาณน้ำหนักแห้งต่ำสุด เมื่อสาหร่ายได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นไปมีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งลดลง และเมื่อสาหร่ายได้รับสารปรอทมีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างชนิดและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับ พบว่า สาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ที่ได้รับโลหะต่างชนิดกันที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน มีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ต่างกัน ดังนี้

เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับโลหะหนักต่างชนิดกันที่ระดับความเข้มข้น 0.5 mg/l มีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของ *Ankistrodesmus* sp. แตกต่างกัน

เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับ โลหะหนักต่างชนิดกันที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l มีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของ *Ankistrodesmus* sp. แตกต่างกัน แต่เมื่อได้รับแคดเมียม และสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/l มีผลไม่แตกต่างกัน

เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับ โลหะหนักต่างชนิดกันที่ระดับความเข้มข้น 3 mg/l มีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของ *Ankistrodesmus* sp. แตกต่างกัน

เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับ โลหะหนักต่างชนิดกันที่ระดับความเข้มข้น 5 mg/l มีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของ *Ankistrodesmus* sp. แตกต่างกัน แต่เมื่อได้รับสารปรอท และทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 5 mg/l มีผลไม่แตกต่างกัน

เมื่อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้รับ โลหะหนักต่างชนิดกันที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/l มีผลให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของ *Ankistrodesmus* sp. แตกต่างกัน แต่เมื่อได้รับสารปรอท และทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/l มีผลไม่แตกต่างกัน

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์เอของสาหร่าย เมื่อได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

การทดสอบผลของโลหะหนักต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ หลังจากได้รับสารปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู และทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l เป็นเวลา 7 วันแล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ได้ผลการทดลองดังนี้

1. ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย *Chlorella* sp.

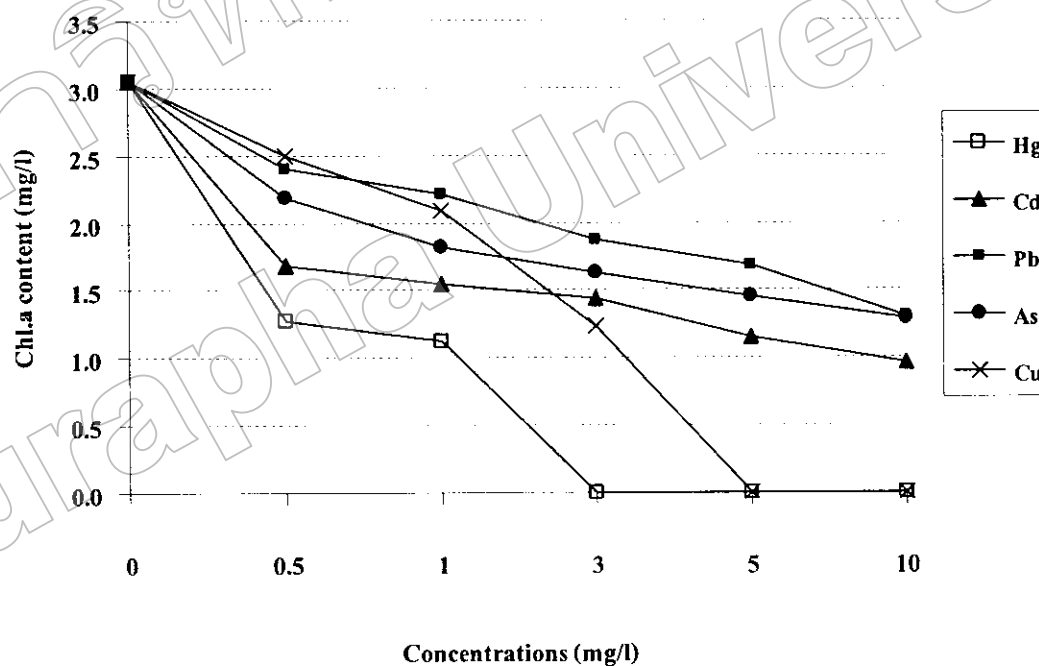
สาหร่าย *Chlorella* sp. ที่ได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์เอ หลังจากได้รับโลหะหนักเป็นเวลา 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 28 และภาพที่ 44

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Chlorella* sp. ที่ได้รับ โลหะหนักแต่ละชนิด ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Chlorella* sp. ได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า สารปรอทมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง แคดเมียม สารหนู และตะกั่ว ตามลำดับ แต่เมื่อได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้น 3, 5 และ 10 mg/l และเมื่อได้รับทองแดงที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 mg/l มีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเซลล์ถูกทำลายคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

ตารางที่ 28 ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Chlorella* sp. (mg/l) หลังจากที่ได้รับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน (Mean±SD)

โลหะหนัก	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
สารปรอท	3.1±0.0	1.3±0.0	1.1±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
แคดเมียม	3.1±0.0	1.7±0.0	1.6±0.0	1.4±0.0	1.2±0.0	0.9±0.0
สารตะกั่ว	3.1±0.0	2.4±0.1	2.2±0.3	1.9±0.1	1.7±0.1	1.3±0.0
สารหนู	3.1±0.0	2.2±0.0	1.8±0.0	1.6±0.0	1.5±0.1	1.3±0.0
ทองแดง	3.1±0.0	2.5±0.2	2.1±0.2	1.2±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0

n = 3



ภาพที่ 44 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Chlorella* sp. หลังจากได้รับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

2. ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย *Scenedesmus* sp.

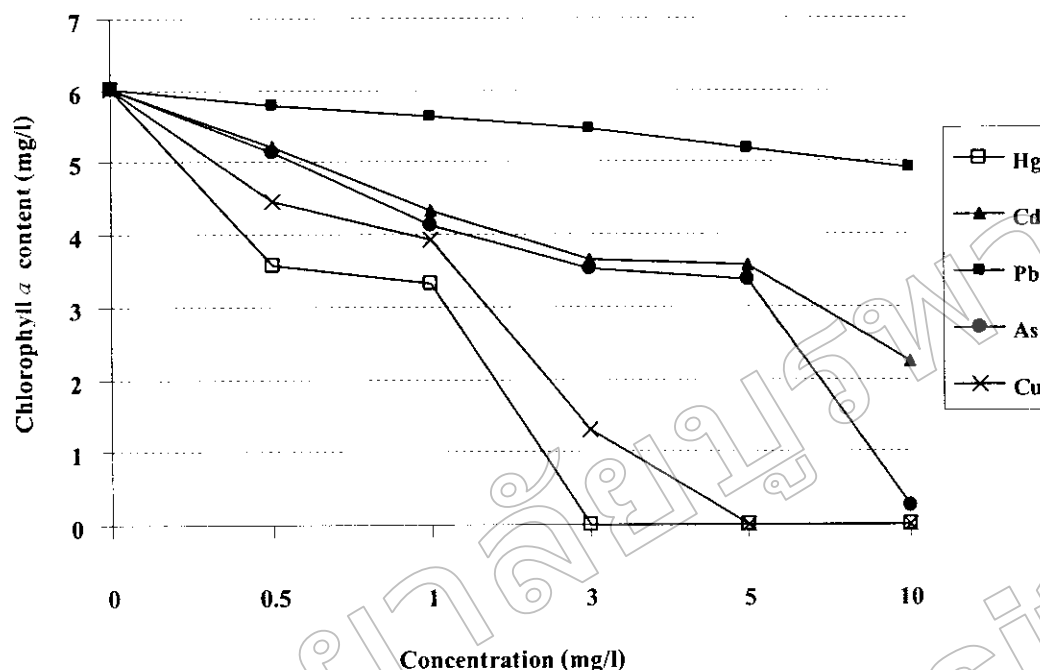
สาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่ได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ หลังจากได้รับโลหะหนักเป็นเวลา 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 29 และภาพที่ 45

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Scenedesmus* sp. ที่ได้รับโลหะหนักแต่ละชนิด ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์เอขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับ โลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า สารปรอทมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ตามลำดับ แต่เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างระดับความเข้มข้นที่ได้รับกับโลหะแต่ละชนิดพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอแตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่เมื่อได้รับสารปรอทที่ระดับความเข้มข้น 3, 5 และ 10 mg/l สารหนูที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/l และทองแดงที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 mg/l มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเซลล์ถูกทำลายคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

ตารางที่ 29 ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Scenedesmus* sp. (mg/l) หลังจากที่ได้รับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

โลหะหนัก	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
สารปรอท	6.0 $\pm$ 1.2	3.6 $\pm$ 0.2	3.3 $\pm$ 0.2	0.1 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
แคดเมียม	6.0 $\pm$ 1.2	5.2 $\pm$ 0.2	4.3 $\pm$ 0.6	3.7 $\pm$ 0.4	3.6 $\pm$ 0.1	2.3 $\pm$ 0.3
สารตะกั่ว	6.0 $\pm$ 1.2	5.8 $\pm$ 0.3	5.6 $\pm$ 0.6	5.5 $\pm$ 0.1	5.2 $\pm$ 0.8	4.9 $\pm$ 0.2
สารหนู	6.0 $\pm$ 1.2	5.1 $\pm$ 0.1	4.1 $\pm$ 0.6	3.5 $\pm$ 0.2	3.4 $\pm$ 0.5	0.3 $\pm$ 0.3
ทองแดง	6.0 $\pm$ 1.2	4.5 $\pm$ 0.7	3.9 $\pm$ 0.8	1.3 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

n = 3



ภาพที่ 45 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Scenedesmus* sp. ที่ได้รับสารปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู และทองแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

3. ผลของโลหะหนักต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp.

สาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ที่ได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงตามระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ หลังจากที่ได้รับโลหะหนัก ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 30 และภาพที่ 46

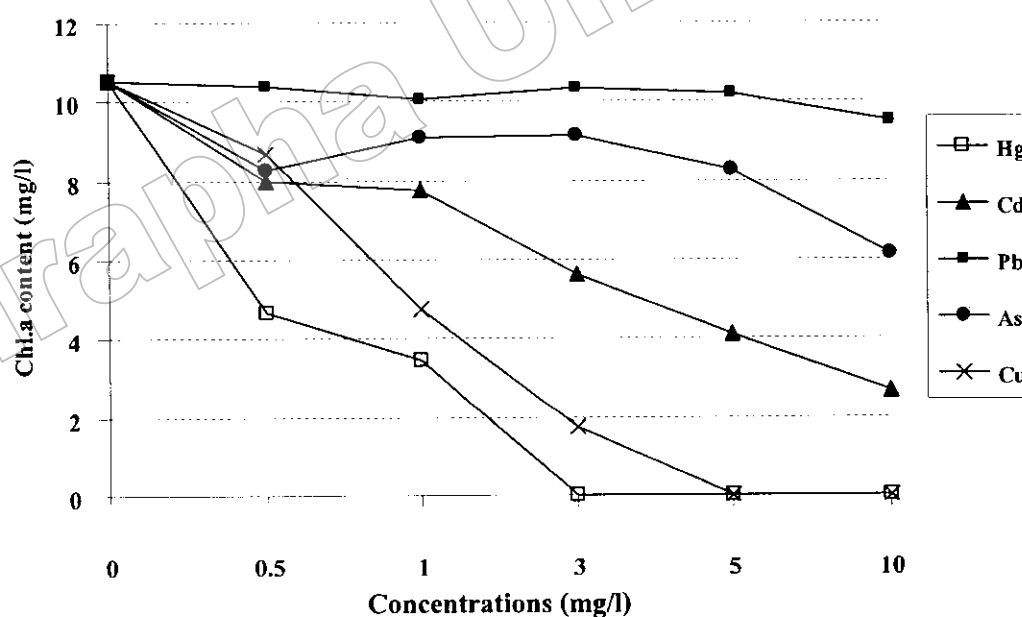
เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Scenedesmus* sp. ที่ได้รับโลหะหนักแต่ละชนิด ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์เอขึ้นอยู่กับชนิดและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ได้รับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า สารปรอทมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ตามลำดับ แต่เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างระดับความเข้มข้นที่ได้รับกับโลหะแต่ละชนิดพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอแตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่เมื่อได้รับสาร

ปรอทที่ระดับความเข้มข้น 3, 5 และ 10 mg/l และทองแดงที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 mg/l มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเซลล์ถูกทำลายคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

ตารางที่ 30 ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Ankistrodesmus* sp. (mg/l) หลังจากที่ได้รับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน (Mean $\pm$ SD)

โลหะหนัก	ระดับความเข้มข้น (mg/l)					
	0	0.5	1	3	5	10
สารปรอท	10.5 $\pm$ 2.3	4.4 $\pm$ 0.41	3.4 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0
แคดเมียม	10.5 $\pm$ 2.3	8.0 $\pm$ 0.1	7.7 $\pm$ 1.1	5.6 $\pm$ 0.6	4.1 $\pm$ 0.3	2.7 $\pm$ 0.2
สารตะกั่ว	10.5 $\pm$ 2.3	10.4 $\pm$ 1.2	10.3 $\pm$ 0.1	10.4 $\pm$ 1.0	10.2 $\pm$ 0.1	9.5 $\pm$ 0.7
สารหนู	10.5 $\pm$ 2.3	5.1 $\pm$ 0.1	4.1 $\pm$ 0.63	3.5 $\pm$ 0.2	3.4 $\pm$ 0.5	0.3 $\pm$ 0.3
ทองแดง	10.5 $\pm$ 2.3	8.7 $\pm$ 0.2	4.8 $\pm$ 0.2	1.8 $\pm$ 0.7	0.0 $\pm$ 0.0	0.0 $\pm$ 0.0

n = 3



ภาพที่ 46 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Ankistrodesmus* sp. ที่ได้รับสารปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู และทองแดง ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l) เป็นเวลา 7 วัน

จากผลการทดสอบความแตกต่าง ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่ได้รับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5 และ 10 mg/l โดย Three-Way Fixed Factor ANOVA พบว่า ความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์เอขึ้นอยู่กับสายพันธุ์สาหร่าย ชนิด และระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้รับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ สาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุด รองลงมาคือ สาหร่าย *Scenedesmus* sp. และสาหร่าย *Chlorella* sp. มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่ำสุด เมื่อได้รับ โลหะหนักแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นไปมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลง และเมื่อสาหร่ายได้รับสารปรอทมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่ำสุด รองลงมาคือ ทองแดง แคดเมียม สารหนู และตะกั่ว ตามลำดับ